سلسلة تكنولوجيا وفسيولوجيا الخضر

تداول الحاصلات البستانية

تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد

تأليف

أ. د. أحمد عبدالمنعم حسـن

أستاذ الخضر المتفرغ

كلية الزراعة – جامعة القاهرة

يطلب من الدار العربية للنشر والتوزيع

٣٢ شارع عباس العقاد - مدينة نصر

ت : ٢٢٧٥٣٣٢٥ فاكس : ٢٢٧٥٣٣٨٨

وكبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

الطبعة الأولى

٢٠١٠

حقوق النشر

تداول الحاصلات البستانية

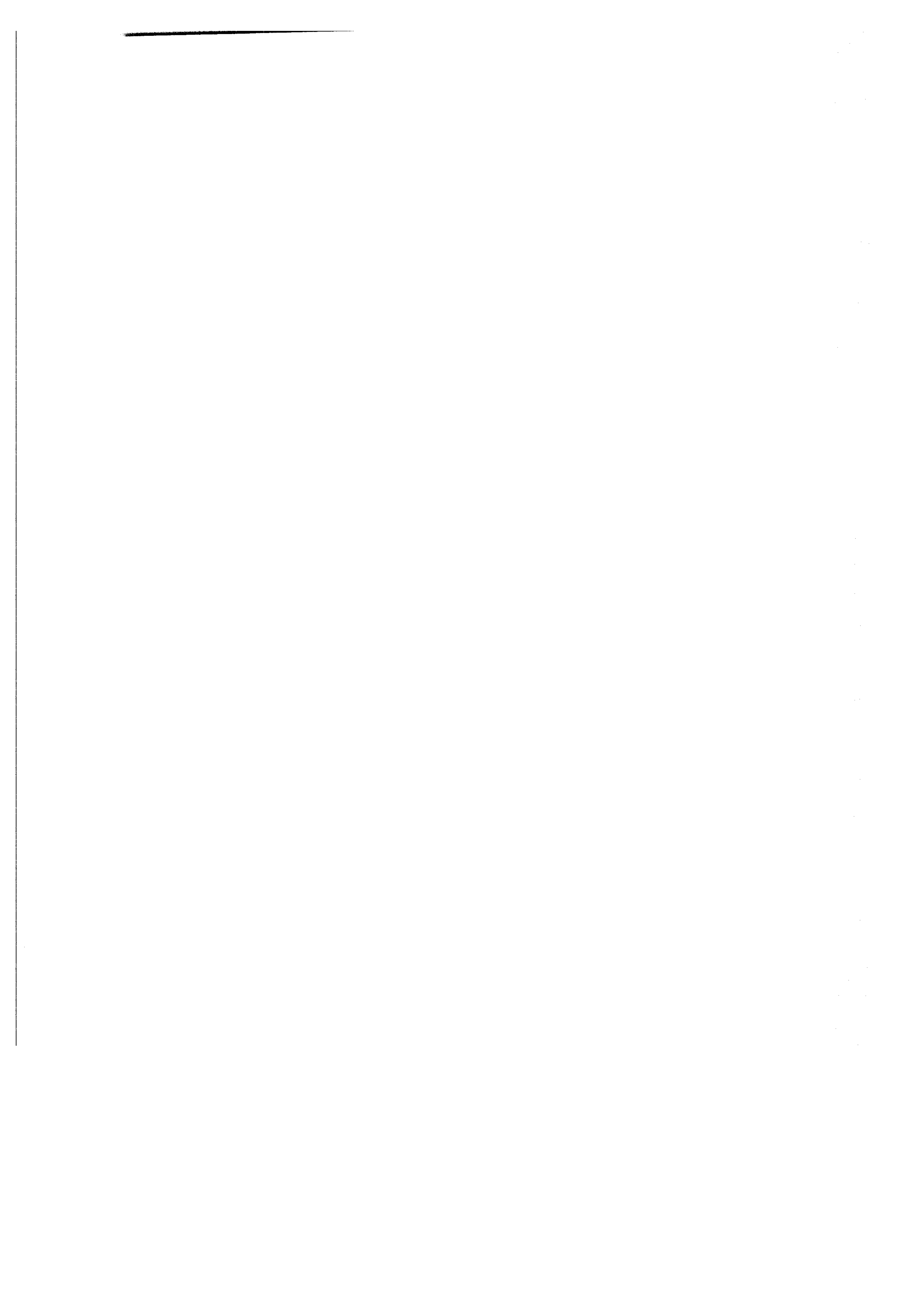
تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد

رقم الإيداع : ٢٠١٠/٢٥٣٢
I. S. B. N. : 977-258-382-8

E-mail: ahmed_a_hassan@yahoo.com

تداول الحاصلات البستانية

تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد



المقدمة

مع الاهتمام المتزايد — على المستويين العام والخاص — بتنمية صادراتنا من الحاصلات البستانية كمًّا ونوعًا، ومع اهتمام جانب من المستهلكين المحليين بأمر "الجودة" فى تلك المنتجات، يأتى صدور هذا الكتاب تلبية لتلك الاحتياجات. ومع إدراكى الكامل للفارق الهائل بين الوضع المتردى الذى آلت إليه "جودة" معظم المنتجات البستانية محليًّا — حاليًا — وبين ما نسعى للوصول إليه، فإن تحسين الأوضاع لا يأتى إلا بالطرق على الحديد وهو ساخن، مع توفير المعلومات التقنية لمن شاء أن يتقدم. خاصة وأن موضوع تردى "الجودة" - سواء أكان ذلك بسبب التلوث الميكروبى، أم التلوث بالمبيدات، أم التلوث بالعناصر الثقيلة، أم لكثرة الإصابة بالأعفان. أم لتردى الحالة الفيزيائية والفسيولوجية للمنتجات ذاتها — كل ذلك أصبح موضوعًا دائمًا للصحافة، وأضحى يحظى باهتمام المواطن العادى؛ لما له من تأثير واسع على الصحة العامة.

يتضمن هذا الكتاب ستة عشر فصلاً. تبدأ بواحد من أكبر الفصول حجمًا، وهو متطلبات الإنتاج الآمن صحيًّا من الخضر والفاكهة؛ وهو موضوع بالغ الأهمية، سواء أكان الإنتاج للتصدير، أم للاستهلاك المحلى. تأتى بعد ذلك تفاصيل عملية الحصاد فى الفصل الثانى، ثم بعض الجوانب الفسيولوجية الهامة فيما بعد الحصاد، وهى: صفات الجودة والتغيرات الفسيولوجية (الفصل الثالث)، والتنفس (الفصل الرابع)، والإثيلين (الفصل الخامس)، ويلى ذلك تكنولوجيا بعد الحصاد — وما قد يكتنفها من جوانب فسيولوجية — من حيث: محطات التعبئة (الفصل السادس)، والتعبئة والعبوات (الفصل السابع)، والتبريد الأولى (الفصل الثامن)، والمعاملات التى تجرى للمحافظة على الجودة والحد من الإصابات المرضية والحشرية (الفصل التاسع)، وطرق التخزين والمخازن المبردة (الفصل العاشر)، والتخزين فى الحرارة المنخفضة (الفصل الحادى عشر)، وأضرار البرودة والتجمد (الفصل الثانى عشر)، والتخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته (الفصل الثالث عشر) والتعبئة والتخزين والشحن فى الجو المعدل

(الفصل الرابع عشر)، وتداول وفسيولوجيا وتخزين الحاصلات المعدة للمستهلك (الفصل الخامس عشر)، وأخيرًا .. موضوع التصدير والشحن البحرى والجوى (الفصل السادس عشر). وقد زوِّد الكتاب بقائمتين من المراجع أولاهما مختارة وتضم نحو ثلاثين من أبرز المراجع فى شتى مواضيع الكتاب، والتى يمكن الرجوع إليها لمزيد من التفاصيل، وثانيتهما لمصادر الكتاب وتضم بضع مئات من المراجع التى استخدمت فى إعداد هذا الكتاب.

يخدم هذا الكتاب كل من له علاقة بإنتاج وتداول الحاصلات البستانية من دارسين، وباحثين، وأساتذة، ومهندسين زراعيين، ومنتجين، ومصدرين.

والله أسأل أن أكون قد وفقت فى تقديم إضافة جديدة للمكتبة العربية فى موضوع نحن فى أمسِّ الحاجة إليه.

أ. د. أحمد عبد المنعم حسن

محتويات الكتاب

الموضوع | لصفحة

الفصل الثانى

الحصاد

الموضوع | الصفحة

الفصل الرابع
التنفس

الموضوع الصفحة

الفصل الخامس

الإثيلين

الفصل السادس

محطات التعبئة ومجمل عمليات التداول

الفصل السابع

التعبئة والعبوات

الموضوع	الصفحة

الفصل الثامن

التبريد الأوَّلى

الفصل التاسع

معاملات المحافظة على الجودة والحد من الإصابات المرضية والحشرية

الموضوع	الصفحة

الموضوع　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　الصفحة

الفصل العاشر
طرق التخزين والمخازن المبردة

الموضوع | الصفحة

الفصل الحادى عشر
التخـــزين البارد

الفصل الثانى عشـــــر
أضرار البرودة والتجمد

الفصل الثالث عشر

التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

الفصل الرابع عشر

التعبئة والتخزين والشحن فى جو معدل

الموضوع	الصفحة

الموضوع | الصفحة

الفصل السادس عشر

تصدير وشحن الحاصلات البستانية

الفصل الأول

متطلبات الإنتاج الآمن صحيًّا من الخضر والفاكهة

مقدمة

يشعر كثير من المستهلكين أن المنتجات الغذائية يجب ألاّ يُصاحب تناولها أية مخاطر، ولكن — لسوء الحظ — فإن خفض تلك المخاطر إلى الصفر يعد أمرًا مستحيلاً.

إن الأنظمة المؤثرة للأمان فى الخضر والفاكهة تتضمن أربعة برامج، هى:

١– الممارسات الزراعية الجيدة Good Agricultural Practices (اختصارًا: GAPs).

٢– الممارسات التصنيعية الجيدة Good Manufacturing Practices (اختصارًا: GMPs).

٣– إجراءات التطهير والنظافة وتعزيز الصحة العامة والبيئة الصحية Sanitation Procedures، وهى التى تعرف — كذلك — باسم Sanitation Standard Operating Procadures (اختصارًا: SSOPs).

٤– تحليل المخاطر Hazard Analysis Critical Control Points (اختصارًا: HACCP).

وإن من أهم مصادر التلوث الميكروبى لمحاصيل الخضر الطازجة، ما يلى:

أولاً: المصادر السابقة للحصاد:

تتضمن تلك المصادر ما يلى:

براز الإنسان والحيوانات — التربة — ماء الرى — الأسمدة الحيوانية غير المكمورة جيدًا — الأتربة — الحيوانات المستأنسة والبرية — تداول الإنسان للمنتجات.

ثانيًا: المصادر التالية للحصاد:

تتضمن تلك المصادر ما يلى:

براز الإنسان والحيوانات — تداول الإنسان للمنتجات — حاويات الشحن —

الحيوانات المستأنسة والبرية – الأتربة – مياه الغسيل والشطف – معدات التشغيل – الثلج – درجة حرارة التخزين غير الملائمة – العبوات غير الملائمة – التلوث من الأغذية الأخرى – درجات حرارة العرض غير الملائمة – التداول بطريقة غير سليمة بعد شراء المستهلك للمنتج (Ryder ١٩٩٩).

إن منع التلوث الميكروبى من الأساس هو الوسيلة الوحيدة للحد من مخاطر الأمان فى الغذاء وتأكيد الأمان. ولا يمكن للاختبارات الميكروبية ضمان خلو الغذاء الطازج من المسببات المرضية، والحقيقة أنه لا يمكن – غالبًا – اكتشاف المسببات المرضية – عن طريق تلك الاختبارات – حتى ولو كانت متواجدة. فمثلاً .. إذا احتوت خمس ثمار فى مجموعة من ١٠٠ ثمرة على مسببات مرضية (٥٪ تلوث)، فكم ثمرة يلزم فحصها؟. لكى نتأكد بنسبة ٩٥٪ أن إحدى الثمار المتلوثة قد تم فحصها؟. يظهر من جدول (١-١) أنه عند نسبة تلوث ٥٪ يلزم فحص ٦٠ ثمرة لكى نتأكد بنسبة ٩٥٪ من أننا عثرنا على المسبب المرضى. ومن المؤكد أنه ليس عمليًّا فحص ٦٠ ثمرة من كل ١٠٠. كما أن فحص عدد أقل يعنى زيادة احتمال عدم اكتشاف المسببات المرضية حتى ولو كانت متواجدة. ولهذا السبب .. فإن النتائج السلبية لاختبارات تواجد المسببات المرضية تكون فائدتها محدودة، وقد تكون مضللة. وبالرغم من أن فحص عينات من المنتجات قد لا يكون عمليًّا، فإن فحص المصادر المحتملة للتلوث الميكروبى مثل ماء الرى، ومياه التبريد والتشغيل، والأسطح التى يلامسها الغذاء، ومراقبة إجراءات الصحة العامة الخاصة بالعاملين تعد وسائل أكثر كفاءة فى منع انتشار مسببات أمراض الإنسان (Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

ويتحقق جانب كبير من مبدأ عدم التلوث الميكروبى إذا ما روعيت الأمور التالية:

١- عدم إضافة سبلة مواشى أو سبلة دواجن غير متحللة إلى حقول الخضر التى تستهلك طازجة.

٢- عدم إضافة السبلة إلى مساحة تكون مجاورة لحقل قريب من الحصاد.

٣- عدم استعمال معدات استخدمت فى المعاملة بالسبلة فى حقل آخر قريب من الحصاد دون تنظيفها جيدًا.

٤- عدم الرى من بركة تستخدم للماشية.

٥- عدم حصاد الثمار التى تسقط على الأرض لأجل استهلاك الثمار الكاملة أو لأجل عمل العصير غير المبستر، وخاصة إذا كان قد أضيف للأرض سماد عضوى.

٦- عدم تشوين المحصول فى أمكان يمكن أن تتعرض لخلفات الطيور (Bachman & Earles ٢٠٠٠).

جدول (١-١): احتمال أن فحص عدد معين من العينات يفشل فى اكتشاف التلوث الميكروبى عند وجود هذا التلوث بنسب مختلفة.

التلوث (٪)	عدد العينات التى تم فحصها، واحتمالات الفشل فى اكتشاف التلوث (٪)					
	٥	١٠	١٥	٢٠	٣٠	٦٠
١٠,٠	٤١	٦٥	٧٩	٨٨	٩٦	>٩٩
٥,٠	٣٣	٤٠	٥٤	٦٤	٧٩	٩٥
٢,٠	١٠	١٨	٢٦	٣٣	٤٥	٧٠
١,٠	٥	١٠	١٤	١٨	٢٦	٤٥
٠,١	١	١	٢	٢	٣	٦

ويعد الحمل الميكروبى الذى يتواجد بالغذاء - بصورة عامة - مقياسًا لجودته. وتلك العلاقة (وهى عكسية بطبيعة الحال) صحيحة فى بعض الحالات، إلا أن أرقام الحمل الميكروبى قد لا تعبر فى أحيان أخرى كثيرة عن الجودة بدقة؛ فالخضر والفاكهة قد تتلوث بشدة بالتربة وبقايا النباتات؛ ومن ثم يصبح الحمل الميكروبى بها عال جدًا حتى عند الحصاد مباشرة (جدول ١-٢). وعلى سبيل المثال .. فإن العدد الكلى للخلايا البكتيرية قد يتراوح بين العشرات إلى الملايين لكل جرام. كذلك فإن الحمل الميكروبى بالخضر الطازجة يتأثر بعوامل خارجية مثل الأحوال الجوية؛ وبذا .. فهو يتغير من يوم لآخر (Shewfelt & Prussia ١٩٩٣).

جدول (١-٢): الحمل الميكروبي الذى أمكن تقديره فى بعض الخضر والفاكهة الطازجة.

الكائنات الدقيقة	المنتج	الحمل الميكروبي بكل جرام واحد
بكتيريا	أسبرجس	31,600
	بنجر	3,200
	فلفل أخضر	132,000
	بروكولى	10,000-2,500,000
	كرنب	4-100,000
	كولارد	3,200,000-6,300,000
	خس	100,000-1,000,000
	فاصوليا ليما	1-150
	بطاطس	75-28,000
	لوبيا	25,100,000
أعفان فطرية وخمائر	فلفل أخضر	2,900
	بلاك برى	1,400
	جزر	44,000
	كرفس	50,000
	عنب	150-45,000
	بسلة خضراء	150
	فاصوليا ليما	34,000
	بامية	1,700,000
	خوخ	50
	راسبرى	50-3,000
	لوبيا	10,000
	فراولة	50-200

مسببات أمراض الإنسان التى يمكن أن تلوث المنتجات الطازجة

تعرف أربع مجموعات من مسببات أمراض الإنسان يمكن أن تتواجد فى المنتجات الطازجة، وهى:

١- البكتيريا التى تتواجد فى التربة، وهى:

Clostridium botulinum
Listeria moncytogenes

٢- البكتيريا التى تتواجد فى براز الإنسان والحيوان، وهى:

Salmonella spp.
Shigella spp.
E. coli O157:H7 and others

٣- المتطفلات، وهى:

Cryptosporidium
Cyclospora

٤- الفيروسات، وهى:

Hepatits virus
Nowalk virus

إن التلوث الميكروبى يمكن أن يحدث بواسطة العمال الحقليون، وعمال التداول والتجهيز بعد الحصاد، وعند الاعتماد فى الرى على مياه ملوثة أو على أسمدة حيوانية ملوثة وغير مكتملة التحلل (Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

ويحدث تلوث ببكتيريا السلامونيلا Salmonella (عدة أنواع، منها: *S. typhimurium*، و *S. chester*، و *S. poona*، و *S. javania*، و *S. montevideo* وغيرها) فى عديد من أنواع الخضر. ولقد وجد أن أعداد تلك البكتيريا تزداد حتى عشرة أضعاف فى الأنسجة التى تكون مصابة — كذلك — ببكتيريا العفن البكتيرى *Erwinia carotovora*، ويبدو أن لذلك علاقة بما تحدثه بكتيريا العفن البكتيرى من تحلل بالأنسجة وانطلاق إفرازات تعيش وتتكاثر عليها بكتيريا السلامونيلا (Wells & Butterfield ١٩٩٧).

ونعرض فى جدول (١-٣) قائمة بعدد من الأنواع البكتيرية المرضة والفطرية (المسببة للأعفان molds) التى عزلت بالفعل من بعض أنواع الخضر الطازجة (عن Shewfeldt & Prussia ١٩٩٣).

جدول (١-٣): بعض الأنواع البكتيرية (Bacteria) و الفطرية (Mold) التى عزلت بالفعل من بعض أنواع الخضر الطازجة.

الخضر	الكائنات الدقيقة التى تم عزلها
أسبرجس	Bacteria: *Aeromonas hydrophila*
فلفل حلو	Molds: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp.
بروكولى	Bacteria: *A. hydrophila*
كرنب	Bacteria: *Pseudomonas* sp.
	Molds: *Alternaria* sp., *Aureobasicium pullulans, Botrytis cinerea, Cladosporium* sp., *Penicillium* sp.
جزر	Bacteria: *Bacillus* sp., *Erwinia* sp., *Pseudomonas* sp.
قنبيط	Bacteria: *A. hydrophila*
كولارد	Bacteria: *Citrobacter freundii, Enterobacter agglomerans, E. cloacae, Escherichia coli, Hafnia alvei, Klebsiella oxytoca, Serratia rubidea*
أذرة سكرية	Baacteria: *Enterobacter* sp., *E. agglomerans, E. cloacae, Enterococcus faecalis, E. faecium, Flavobacterium* sp., *Pseudomonas* sp., *Serratia* sp., *Xanthomonas* sp.
	Molds: *Aspergillus niger, Cladosporium cladosporioides, Penicillium oxalicum, P. expansum, P. funciulosum*.
خيار	Bacteria: *Cirobacter* sp., *Enterobacter cloacae. Erwinia* sp.
فاصوليا خضراء	Molds: *Aspergillus pullans, A. tenuis, Cladosporium fimeti. E. nigrum, Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Phoma* sp., *Rhizopus nigricans*
خس	Bacteria: *Aeromonas hydrophila, Citrobacter amalonticus, C. freundii, Enterobacter aerogenes, E. agglomerans, E. cloacae, Proteus morganii, P. rettgeri, P. stuartii, P. vulgaris*

تابع جدول (١-٣).

الخضر	الكائنات الدقيقة التى تم عزلها
بسلة خضراء	Bacteria: *Enterobacter agglomerans*, *E. cloacae*, *Serratia marcescens*
بطاطس	Bacteria: *Bacillus cereus*, *B. lichenformis*, *Enterobacter caratovora*
لوبيا	Molds: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Phoma* sp.
طماطم	Bacteria: *Acinetobacter* sp., Corynebacteria, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia intermedia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella* sp., *Lactobacillus* sp., *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas* sp., *Xanthomonas* sp.
	Molds: *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp.

ويبين جدول (١-٤) بعض حالات الإصابة بمختلف مسببات الأمراض التى حدثت بالفعل فى شتى أنحاء العالم جراء استهلاك أغذية طازجة ملوثة (عن Hammond وآخرين ٢٠٠١).

جدول (١-٤): بعض حالات الإصابة المرضية الموثقة جراء استهلاك منتجات طازجة.

المسبب المرضى	المنتج الطازج الملوث	مكان حدوث الإصابة
***Shigella* species**		
S. sonnei	خس	تكساس
S. sonnei	خس مقطع	تكساس
S. sonnei		النرويج والسويد والمملكة المتحدة
***Salmonella* species**		
S. flexneri	بصل أخضر	وسط غرب الولايات المتحدة
S. javiana	طماطم	عدة ولايات أمريكية
S. montivideo	طماطم	عدة ولايات أمريكية
S. saint-paul	نبت فاصوليا	المملكة المتحدة

تابع جدول (١-٤).

المسبب المرضى	المنتج الطازج الملوث	مكان حدوث الإصابة
S. saint-paul*, S. *havana*, *S. muenchen	نبت فاصوليا	السويد
S. gold-coast	كرسون	الولايات المتحدة
S. miami*, S. *bareilly	بطيخ مجهز للمستهلك	
S. oranienburg*, *S. javiana	بطيخ	عدة ولايات أمريكية
S. chester	كنتالوب مجهز	عدة ولايات أمريكية
S. poona	كنتالوب مجهز	عدة ولايات أمريكية وكندية
***Escherichia* species**		
***E. coli* (Enterotoxigenic)**	سلطات من خضر طازجة	ركاب طائرات بالولايات المتحدة
	سلطات من خضر طازجة	الولايات المتحدة
***E. coli* 0157:H7 (Enterohemorrhagic)**	عصير تفاح وكنتالوب	أدريجون
	بروكولى	تكساس
مسببات مرضية أخرى		
Listeria monocytogenes	كرفس وطماطم وخس	بوسطن
	كول سلو	كندا
Bacillus cereus	نبت بذور خضر	عدة ولايات أمريكية
Viral gastroenteritis	سلطات	اسكتلندة
Hepatitis A	راسبرى مجمد	عدة ولايات أمريكية
	فراولة مجمدة	كنتكى
	طماطم مجهزة بالتقطيع	أركنساه

متطلبات الأمان الصحى فى منتجات الخضر والفاكهة الطازجة

إن أهم ما تجب ملاحظته بالنسبة للأمان الميكروبى فى منتجات الخضر والفاكهة التى تؤكل طازجة ما يلى:

١- ما أن يحدث تلوث ميكروبى فى المنتج، فإن التخلص من المسببات المرضية يصبح أمرًا شديد الصعوبة.

٢- يعد منع التلوث الميكروبى فى كل المراحل من الإنتاج إلى التوزيع أمرًا مفضلاً عن محاولة التخلص من التلوث الذى قد يحدث.

٣- إن برنامج الأمان الغذائى الواضح المفصل والمسجل تطبيقه فى مراحل الإنتاج والتداول والتعبئة ... إلخ، مع التدريب الدقيق للعاملين، لهو مفتاح النجاح فى تحقيق الأمان الغذائى المنشود.

ولا يقتصر الأمان الصحى على الأمان من التلوث الميكروبى فقط، وإنما يتعداه — كذلك — إلى الأمان من التلوث بالمبيدات، ومختلف الملوثات من عناصر ثقيلة، ومركبات كيميائية غير مرغوب فيها، وسموم فطرية ... إلخ.

ونستعرض — فيما يلى — مختلف الأمور التى يتعين مراعاتها فى شتى جوانب العملية الإنتاجية والحصاد والتداول والتسويق وصولاً بالمنتج إلى المستهلك.

ما تجب ملاحظته بشأن تاريخ استعمال الأرض

إن أمان أى منتج لا يعتمد فقط على الممارسات الزراعية التى خضع لها، ولكن كذلك على الاستعمالات السابقة لحقل الزراعة وما مورست فيه من معاملات؛ ذلك لأن العناصر الثقيلة ومتبقيات بعض المبيدات يمكن أن تبقى فى التربة لفترات طويلة. ولذا .. يجب اختبار التربة للتأكد من خلوها من التركيزات الخطرة من تلك المركبات. ويجب — كذلك — التعرف على الاستعمالات السابقة لحقل الزراعة وتوثيق ذلك للتأكيد على أن الأرض لم تستعمل فى السابق كمستودع للتخلص من النفايات الخطرة، أو فى أغراض صناعية ربما تخلف عنها متبقيات سامة. وإذا ما كان حقل الزراعة قد استعمل سابقًا فى أغراض زراعية، فإنه يتعين مراجعة معاملات المبيدات التى استخدمت فيه للتأكد من أنها كانت سليمة. كذلك يجب ألاّ يكون الحقل قد استخدم فى الماضى القريب كموقع لتغذية الحيوانات الزراعية أو رعيها نظرًا لأن تلوث التربة بمخلفاتها قد يدوم لفترة طويلة.

ما تجب مراعاته بشأن ماء الري

يُعد ماء الرى أحد المصادر المحتملة للتلوث الميكروبى فى الخضر والفاكهة، كما تعد مياه الآبار العميقة أقل تعرضًا للتلوث الميكروبى عن المياه السطحية. ويتعين اختبار مياه الرى على فترات للتأكد من خلوها من أى تلوث. ويستدل من وجود *E. coli* على حدوث تلوث برازى واحتمال لتواجد مسببات الإنسان المرضية. ويعطى الرى بالرش فرصة أكبر لحدوث التلوث الميكروبى عن الرى السطحى أو بالتنقيط. ويجب الاهتمام كذلك بالماء المستخدم فى رش المبيدات والأسمدة وغيرها والتأكد من خلوه من التلوث الميكروبى.

إن ملامسة مياه الرى للمنتج فى أى وقت قد تكون هى العامل المحدد لتلوثه الميكروبى؛ ولذا .. يجب أن يراعى فى هذا الشأن ما يلى:

١- التعرف على مسار جريان الماء السطحى، ومصادره، ومصادر التلوث الميكروبى التى قد يتعرض لها.

٢- تحديد المصادر المحتملة للتلوث الميكروبى لمياه الرى، وخاصة تلك التى يكون من الممكن التحكم فيها.

٣- تصميم الآبار بطريقة تؤمن عدم تلوثها بأى مياه سطحية، أو من رشح مياه الصرف.

٤- يجب أن يكون الماء المستعمل فى الرى بالرش خالٍ تمامًا من أى تلوث ميكروبى.

٥- يفضل أن يكون الماء المستعمل فى الرى بالرش خلال الأسبوعين الأخيرين قبل الحصاد من مصدر تصلح مياهه للشرب.

ما تجب مراعاته بالنسبة للأسمدة الحيوانية ومخلفات المدن من القمامة

إن الأسمدة الحيوانية الطازجة وتلك التى لم تكمر جيدًا تشكل مصدرًا محتملاً للتلوث بمسببات أمراض الإنسان، وهى التى يمكن تبقى فى الأسمدة الحيوانية لأسابيع وشهور.

ولقد وجد أن البكتيريا *E. coli* O157:H7 يمكن أن تعيش فى السماد الحيوانى — غير المكمور — المضاف للتربة لمدة تصل إلى ٢٥٠ يومًا. هذا بينما يؤدى الكمر المناسب وما ينشأ عنه من ارتفاع فى درجة الحرارة إلى تقليل أخطار تلك المسببات المرضية.

إن الأسمدة الحيوانية ومخلفات المدن (القمامة) التى كمرت جيدًا لا تشكل مصدرًا للمسببات المرضية الميكروبية بالمنتجات الطازجة، ولكن تجب مراعاة ما يلى:

١- ضرورة الإلمام بالإدارة الجيدة لعملية الكمر لأجل خفض أعداد الميكروبات المرضة، مع توثيق إجراءات كمر كل لوط من الكومبوست.

٢- إطالة الفترة ما بين إضافة السماد العضوى للحقل الإنتاجى والحصاد.

ما تجب مراعاته بالنسبة لإجراءات خفض التلوث بالبراز الحيوانى

قد يكون من الصعب — وربما من المستحيل — التجنب الكامل للتلوث بالبراز الحيوانى، ولكن تجب مراعاة الإجراءات التى تحد من التلوث، كما يلى:

١- استبعاد جميع الحيوانات المستأنسة من الحقل الإنتاجى أثناء النمو المحصولى والحصاد.

٢- تقييم مدى الحاجة إلى حزام غير مزروع من الأرض بالقرب من المزارع المحيطة؛ الأمر الذى قد يشجع تواجد أعداد كبيرة من الزواحف والبرمائيات والقوارض والطيور أو أى مصادر أخرى للتلوث.

٣- تقليل تواجد كل ما يجذب إليه مصادر التلوث داخل الحقل الإنتاجى — مثل أكوام المخلفات وبقايا المحصول غير الصالح للتسويق.

ما تجب مراعاته بشأن استعمال المبيدات

يجب استعمال المبيدات تبعًا لتعليمات الشركات المنتجة لها والقوانين المحلية التى تحكم استعمالها. وكذلك قوانين الدول المصدَّر لها المنتج فى حالة التصدير. ويجب توثيق جميع معاملات المبيدات من حيث اسم المنتج التجارى، والشركة المنتجة له،

ومحتواه من المادة أو المواد الفعالة، وتركيزها، وجرعة المعاملة، وكمية الماء التى استخدمت فى المعاملة، ونوع الرشاشة التى استعملت. ويجب أن يقوم بمعاملات المبيدات أشخاص مدربون ومرخصون لهذا الغرض.

ما تجب مراعاته بالنسبة لصحة العاملين ونظافتهم

لا يوجد بديل للتوعية بأهمية النظافة الشخصية للعاملين وإجراءات الصحة العامة. وتدريب العاملين على ذلك، والإصرار على الالتزام الدائم بتلك الإجراءات .. لا بديل عن ذلك لاستدامة العمل بوحدات الإنتاج، وتجب مراعاة ما يلى:

١- توفير كافة إمكانيات المحافظة على الصحة العامة.

٢- عمل برنامج تدريب يتضمن كيفية الغسيل الجيد للأيدى وأهمية استعمال المراحيض.

٣- عمل سياسة واضحة بخصوص السماح للعاملين الذين تظهر عليهم أعراض مرضية أو إسهال للعمل بأنشطة لا تتطلب ملامسة الأغذية، مع شرح تلك السياسة للعاملين. وفى حالة غياب مثل هذه السياسة قد يحدث ألا يقر العامل بمرضه حتى لا يفقد أجره.

٤- فحص الإجراءات بالأماكن التى لا تراقب بدقة، مثل ورديات الرى الليلية.

٥- توفير بلاسترات أو أربطة للعاملين الذين قد يكون بأجسامهم جروح أو التهابات قد تتلامس مع المنتج الطازج.

٦- إذا استعملت القفازات يجب أن يكون استعمالها بطريقة لا تسمح بانتقال مسببات الأمراض إلى المنتج.

٧- استعمال المراحيض المتنقلة بطريقة لا تسمح بأي تسرب منها إلى الحقل.

٨- فى حالة حدوث تناثر لأى مخلفات يجب أن تكون هناك خطة لكيفية محاصرتها وعزل المنتج عنها.

ما تجب مراعاته بالنسبة للإجراءات الصحية فى الحقل وعند الحصاد

يجب الاهتمام بنظافة جميع الأسطح التى تتلامس مع الغذاء المنتج. فيراعى ما يلى:

١- تنظيف جميع الأسطح التى تتلامس مع المحصول وعبوات الحصاد وعبوات نقل المحصول قبل استعمالها.

٢- التأكيد على أن جميع القائمين بعملية الحصاد والمشرفين عليهم على دراية بمبادئ خفض التلوث الميكروبى وأهمية الأمان الغذائى وتقليل أخطاره، مع تطبيق كافة الممارسات الموضوعية لذلك.

٣- تطوير وتوثيق نظام لتنظيف وتطهير كل الأسطح التى تلامس المنتج.

٤- الحد من فرصة تواجد أى كائنات حية يمكن أن تتسبب فى تلوث أسطح ومواد التعبئة.

٥- الحد من فرصة وصول أو انجذاب الكائنات الحية التى يمكن أن تتسبب فى تلوث آلات الحصاد التى تبقى فى الحقل؛ فلا يترك بها أى متبقيات من المحصول بعد الحصاد.

إن التلوث الميكروبى يمكن أن يحدث أثناء الحصاد إذا ما كانت أيدى العاملين أو أدوات الحصاد المستعملة ملوثة. ولذا .. يجب توفير مراحيض متنقلة فى الحقل لاستعمال العاملين تكون مزودة بأحواض لغسيل الأيدى. ومن الضرورى تدريب العمال الحقليون على إجراءات الصحة العامة، مثل غسيل الأيدى بعد استعمال المراحيض، ومراقبتهم لأجل الحد من التلوث بمسببات أمراض الإنسان. وبعد الحصاد لا يجب ترك المنتج على التربة فى الحقل وإنما يوضع مباشرة فى عبوات حقلية نظيفة. كذلك يجب أن تكون أدوات الحصاد نظيفة. كما تجب المحافظة على نظافة عبوات الحقل على فترات منتظمة مع مراعاة عدم تلوثها بالطين، والشحوم، وأى أدوات معدنية. ويفضل استعمال العبوات البلاستيكية عن الخشبية لسهولة تنظيفها.

ما تجب مراعاته بشأن نقل المنتج لمحطة التعبئة

يراعى فى هذا الأمر ما يلى

١- التاكد من نظافة وسائل النقل وخلوها من الروائح والمخلفات وبقايا الشحنات السابقة.

٢- التأكيد على جميع أطراف عملية النقل والتوزيع على الاحتفاظ بالسجلات التى يمكن بها الرجوع إلى أى لوط من المنتج.

ما تجب مراعاته بشأن محطات التعبئة وإجراءات الصحة العامة بعد الحصاد

قد تتم تعبئة المنتج فى الحقل مباشرة ليصل إلى الأسواق دون التعرض لأى معاملات تداول إضافية، وقد ينقل إلى محطة التعبئة حيث يمكن أن يتعرض للتلوث الميكروبى من العاملين. والمعدات، وغرف التخزين المبرد، ومواد التغليف. والماء الذى يُعامل به المنتج. مما يتطلب تطبيق إجراءات الصحة العامة فى كافة المراحل التى يتعرض لها المنتج بعد الحصاد لمنع تلوثه ميكروبيًا.

إن محطات التعبئة المصممة جيدًا يكون فيها العمل بإدارة مركزية تقل معها فرصة حدوث التلوث الميكروبى، ومما تجب مراعاته فى هذا الشأن ما يلى:

١ – تصميم جميع الأسطح التى يتم تداول المحصول عليها. وكذلك الأجهزة بطريقة تسمح بتقليل الأضرار على المحصول إلى حدها الأدنى. وتسهيل الوصول إليها فى عمليات التنظيف والتطهير.

٢- وضع برنامج تنظيف وتطهير لجميع الأسطح التى يتلامس معها المنتج.

٣- التخلص من الأتربة ومخلفات المحصول من عبوات الحصاد وعبوات الشحن والشاحنات بعد كل استعمال. على أن يتم ذلك خارج محطة التعبئة وبعيدًا عن أى مصدر للمياه.

٤- تنظيف البالتات والحاويات والعبوات الكبيرة bins قبل استعمالها.

٥- وضع وتنفيذ برنامج لمكافحة الآفات.

٦- منع الطيور وغيرها من الكائنات التى قد تحدث تلوثًا من تلويث أجهزة التعبئة وأماكن العمل والتخزين.

٧- تخزن العبوات الفارغة غير ملامسة للأرضيات أو للتربة وبأى طريقة تحميها من التلوث الميكروبى.

ونعرض - فيما يلى - لأهم إجراءات الصحة العامة التى يتعين مراعاتها داخل محطات التعبئة.

إجراءات الصحة العامة للعاملين:

يتعين على جميع العاملين ارتداء قفازات وغطاء شبكى لشعر الرأس وبلاطى (سَمَق أو smock)، مع مراعاة ومراقبة كافة إجراءات النظافة والصحة العامة عليهم. ويجب توفير مراحيض قياسية وأماكن لغسيل الأيدى. كذلك توفير أماكن لتنظيف الأحذية لتقليل كمية الأتربة والتلوث. ويجب تدريب العمال على إجراءات النظافة والصحة العامة قبل تشغيلهم، مع استمرار ذلك بانتظام بعد ذلك، مع توثيق كافة دورات التدريب.

الماء المستعمل فى محطات التعبئة:

يجب أن يكون كل الماء الذى يتلامس مع المنتج - سواء فى الغسيل، أم فى التبريد المائى hydrocooling، أم فى التبريد بالتفريغ vacuum cooling - صالحًا للشرب. ولتحقيق ذلك يجب أن يحتوى الماء المستعمل على ٢-٧ أجزاء فى المليون من الكلورين وأن يتراوح رقمه الأيدروجينى (الـ pH) بين ٦، و ٧. ويُسمح بزيادة تركيز الكلورين الكلى إلى ٢٠٠ جزء فى المليون، إلا أن تركيز ٥٠-١٠٠ جزء فى المليون يعد كافيًا إذ تراوح الـ pH بين ٦، و ٧. وعلى الرغم من أن الكلورين يمنع تلوث المنتج عند ملامسته للماء، إلا أنه لا يعقمه. كذلك فإن غسيل المنتج بماء صالح للشرب يخفض أعداد الكائنات الدقيقة المتواجدة عليه إلا أنه لا يُزيل كل البكتيريا.

إن جودة الماء المستعمل فى جميع مراحل تداول المنتج بعد الحصاد هى العامل الأساسى لجودة المنتج، ولذا .. تجب مراعاة ما يلى:

١- اتباع برنامج الـ GMP للتأكد من جودة الماء المستعمل فى كل المراحل.

٢- استعمال المركبات الكيميائية المضادة للميكروبات فى الحدود المسموح بها.

٣- يُعطى اهتمامًا خاصًا للمياه التى تخزن فى تانكات وتلك التى يعاد استعمالها.

٤- التأكد من نظافة وتطهير معدات التبريد.

٥- نقل وتخزين واستعمال الثلج بصورة صحية.

المعدات:

يجب تنظيف كافة الأسطح التى يلامسها المنتج (مثل السيور المتحركة وتانكات الغمر ... إلخ) وتطهيرها على فترات منتظمة بمركبات معتمدة. ويمكن لهذا الغرض استخدام محلول كلورين بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون. ويتعين تنظيف الأجزاء المراد تطهيرها — قبل تطهيرها — بصورة جيدة للتخلص من أى مواد عضوية أو أتربة.

مواد التغليف:

يجب أن تكون جميع مواد التغليف مصنعة من مواد معتمدة للاستعمال مع الأغذية لضمان خلوها من المركبات السامة التى يمكن أن تتسرب منها إلى المنتج المغلف. وقد تتواجد المركبات السامة فى مواد التغليف التى حُصل عليها بإعادة تدوير مواد سابقة. ويجب تخزين العبوات مثل الكراتين والأكياس البلاستيكية فى مخازن مغلقة لحمايتها من الحشرات والقوارض، والأتربة، والقاذورات، ويفضل استعمال الأوعية البلاستيكية لسهولة تنظيفها، بينما يستحيل — مثلاً — تنظيف الأوعية الخشبية.

المخازن الباردة:

يجب تنظيف وتطهير المخازن المبردة وكافة الأجزاء الخاصة بها، مثل ملفات التبريد، وأوانى تجميع قطرات التبريد refrigeration drip pans، ومراوح الدفع الجبرى للهواء، وقنوات الصرف، والأرضيات والحوائط، على أن يتم ذلك على أساس منتظم.

هذا علمًا بأن البكتيريا *Listeria monocytogenes* يمكنها التكاثر فى المخازن المبردة، ويمكن أن تلوث المنتج إذا ما حدث تكثف من وحدات التبريد، أو إذا ما تساقطت قطرات الماء من الأسقف على المنتج. ويمكن لهذه البكتيريا المرضة للإنسان أن تصل بسهولة إلى الحوائط وقنوات الصرف وإلى جهاز التبريد، ولذا .. يتعين استهداف تلك الأماكن — خاصة — بإجراءات التطهير.

ما تجب مراعاته بشأن المنتجات الطازجة سابقة التجهيز

إن المستهلك يتوقع أن تكون الخضر والفاكهة الطازجة السابقة التجهيز fresh-cut آمنة تمامًا للاستهلاك، وأى ضرر قد يحدث لأى مستهلك يمكن أن يؤدى إلى وقف نشاط الشركة، سواء أكان ذلك من خلال توقف الجمهور عن شراء منتجاتها، أم بسبب التعويضات التى قد تكون الشركة مطالبة بسدادها بأوامر قضائية. ومن الطبيعى أن إنتاج منتج آمن تمامًا يعنى زيادة كبيرة فى تكلفة إنتاجه. ويتطلب الأمر البدء بإجراءات الجاب فى العملية الإنتاجية من قبل وصول المنتج إلى المصنع.

وتتعرض المنتجات الطازجة السابقة التجهيز لأضرار كبيرة فى أنسجتها من جراء عمليات التقشير والتقطيع والبشر وعمل الشرائح ... إلخ. كما أن نفس هذه العمليات يمكن أن تنقل مسببات أمراض الإنسان من سطح المنتج إلى أنسجته الداخلية. وتوفر الخلايا المضارة والسوائل الخلوية التى تنطلق منها بيئة مغذية جيدة للنمو الميكروبى. ويعد إبقاء تلك المنتجات فى حرارة منخفضة حتى توزيعها أمرًا ضروريًا للمحافظة على جودتها؛ ذلك لأن الحرارة المنخفضة تقلل التفاعلات الإنزيمية وتبطئ بشدة تكاثر الكائنات الدقيقة التى تفسد المنتج. كذلك تبطئ الحرارة المنخفضة تكاثر معظم مسببات أمراض الإنسان ما عدا *Listeria monocytogenes*، وأنواع أخرى قليلة يمكنها النمو فى الحرارة المنخفضة ولو ببطء.

يجب أن يكون التركيز فى تلك المنتجات على منع التلوث بمسببات أمراض الإنسان، وأفضل طريقة لذلك هى تطبيق برامج الجاب GAP، والـ GMP، والـ SSOP

(والأخير هو برنامج Sanitation Standard Operating Procedures). وأحيانا الهاسب HACCP. علما بأن الهسب يحدد النقاط المحتملة للتلوث الميكروبي ويضمن التحكم في تلك المخاطر ومراقبتها.

إن التنظيم والإدارة الجيدين لمواقع تجهيز الخضر والفاكهة الطازجة للمستهلك يسهمان في الحد من التلوث الميكروبي. ويمكن أن يؤدي التأخير أو التوقف – ولو لفترة قصيرة – في عمليات النظافة العامة والتطهير إلى انتشار مسببات الأمراض إلى الجزء المأكول من المنتجات.

ويراعى بالنسبة لتلك المنتجات ما يلي:

١- لا تستعمل سوى الثمار عالية الجودة التي لا توجد بها جروح مفتوحة أو عيوب ربما تكون قد سمحت للبكتيريا بالنفاذ إلى داخلها، كما يجب تجنب الثمار التي توجد بها بقع غائرة أو متحللة.

٢- يجب أن يكون مسار المنتج أثناء تجهيزه في خط مستقيم، فلا يجب أن يمر المنتج الداخل للمصنع على منتج سبق غسيله أو تجهيزه. ومن الأفضل أن تكون أماكن التعبئة معزولة فيزيائيًّا عن أماكن الاستعمال والتشغيل.

٣- يجب ألا يكون مسار حركة العاملين ونشاطهم بين مكان الاستقبال ومكان التعبئة.

٤- لا يجب أبدًا تداول الثمار غير النظيفة والثمار المقطعة بنفس اليد العاملة سواء أكانت بقفازات أم بدونها.

٥- الاهتمام باستعمال المطهرات الكيميائية المسموح بها بالتركيزات الموصى بها، مع مراقبة التركيز بصورة دائمة.

٦- الاهتمام بمصادر المياه المستخدمة وجودتها.

ما تجب مراعاته بشأن النبت البذري

يعد النبت البذري seed sprouts الذي يؤكل طازجًا أحد مصادر الأمراض للإنسان، ذلك لأن مسببات أمراض الإنسان البكتيرية التي قد تتواجد بأعداد منخفضة

جدًا على البذور قبل تنبيتها قد تتضاعف إلى مستويات عالية جـدًا فـي خلال ٣-٥ أيام من عملية التنبيت. هذا مع العلم بأن لمسببات المرضية يمكن أن تبقى على سطح البذور لعدة شهور. ولقد حدثت حالات مرضية كثيرة جراء استهلاك النبت البذرى لكل من البرسيم الحجازى، والفجل، والفاصوليا. ويمكن الحد من احتمالات تلك الإصابات المرضية بنقع البذور فى محلول كلورين بتركيز ٢٠ ألف جزء فى المليون وهو تركيز مسموح به للبذور قبل استنباتها. كذلك يمكن اختبار ماء التنبيت — قبل حصاد النبت — لكل من الـ *Salmonella*، والـ *E. coli* O157:H7، والـ *L. monocytogenes*.

ما تجب مراعاته بشأن النقل والتخزين فى أسواق الجملة

يفضل دائمًا نقل المنتج فى شاحنات مبردة، مع خفض الحرارة إلى أدنى مستوى يمكن أن يتحمله المنتج. ويجب تنظيف وسائل النقل جيدًا وتطهيرها بانتظام. كما يجب عدم استخدام أى وسائل نقل سبق استخدامها فى نقل حيوانات حية أو منتجات حيوانية أو مواد سامة فى شحن المنتجات الطازجة.

أن التصميم الجيد للمخازن ومراكز التوزيع بأسواق الجملة وإدارتها الجيدة يفيد كثيرًا فى المحافظة على جودة المنتج وسلامته من التلوث الميكروبى. وإن مجرد الإهمال – ولو لفترة وجيزة – فى أعمال النظافة العامة والتطهير يؤدى إلى سرعة انتشار أى تلوث فى كل المكان، كما أن التخزين المختلط للمنتجات قد يؤدى — كذلك — إلى انتشار التلوث من منتج واحد إلى العديد منها. خاصة عندما يستعمل الثلج فى التبريد؛ الأمر الذى يتطلب فصل المنتجات التى تتعرض للبلل عن تلك التى تبقى جافة واستعمال حواجز طاردة للرطوبة بين مختلف المنتجات المتواجدة معًا.

خطط الاسترجاع والسحب

تُعد خطط الاسترجاع traceback والسحب من الأسواق recall خط الدفاع الأخير فى حالات الطوارئ لأمان الغذاء؛ حيث يمكن عن طريقها التعرف على التاريخ الكامل لأى شحنة أو جزء من شحنة من المنتج وإمكان سحبها من الأسواق — عند الضرورة —

بسرعة وسهولة (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤، و T.V Suslow – جامعة كاليفورنيا – ديفز ٢٠٠١ – الانترنت).

الجاب (الممارسات الزراعية الجيدة)

تتضمن متطلبات الممارسات الزراعية الجيدة Good Agricultural Practices (اختصارًا: جاب GAP) ثماني مبادئ لأجل أمان الغذاء تُراعى أثناء الإنتاج، والحصاد، والتداول، والنقل للمنتجات الطازجة، وتهدف تلك المبادئ إلى منع تلوث المنتجات بمسببات أمراض الإنسان.

والمبادئ الأساسية للجاب هي كما يلي:

١– يُفضل اتخاذ الإجراءات التي تمنع التلوث الميكروبي عن الاعتماد على المعاملات التي قد يمكن اتخاذها لمعالجة الأمر إذا ما حدث التلوث.

٢– لأجل تقليل مخاطر التلوث الميكروبي للمنتجات الطازجة، يجب على المنتجين والقائمين على تداول المحصول وتعبئته اتباع مبادئ الجاب في الجوانب التي يمكنهم التحكم فيها دون زيادة الأخطار الأخرى للغذاء والبيئة.

٣– إن كل شئ يلامس المنتج الطازج يمكن أن يلوثه، وأكبر مصادر التلوث تأتي من مخلفات الإنسان والحيوان.

٤– إذا ما لامس الماء المنتج الطازج، فإن مصدره وجودته يُمليان احتمالات تلوث المنتج.

٥– تتعين إدارة ممارسات استعمال الأسمدة العضوية الحيوانية، وتلك التي تحضر من مخلفات المدن بعناية؛ لأجل تحجيم احتمالات التلوث الميكروبي للمنتج الطازج.

٦– اتباع الإجراءات الصحية مع العاملين في الإنتاج، والحصاد، والتداول، والنقل.

٧– الالتزام بكافة القوانين وإجراءات الجاب في الدول التي يُصدَّر إليها المحصول.

٨- مراعاة كافة الإجراءات التى تكفل تتبع مسار أى منتج أو أى شحنة منه فى جميع الخطوات التى مر بها سابقا. وصولا إلى الحقل والمعاملات الحقلية التى خضع لها، وهو ما يعرف باسم traceability (Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

ومن بين متطلبات الجابد – والتى أسلفنا الإشارة إلى بعضها ضمن تناولنا لموضوع متطلبات الأمان الصحى فى منتجات الخضر والفاكهة الطازجة – متطلبات تتعلق بمختلف جوانب إنتاج وتداول المحاصيل، نستعرضها فيما يلى (GAP ٢٠٠٨).

ماء الرى

إذا كان الرى بطريقة الرش فإن الماء المستعمل فى الرى يجب ألا تزيد فيه أعداد خلايا البكتيريا *E. coli* عن ٢,٢ لكل ملليلتر. علمًا بأن التوقف عن الرى السطحى لمدة خمسة أيام – على الأقل – قبل الحصاد يساعد فى التقليل كثيرًا من أعداد المسببات المرضية على الأسطح النباتية.

العاملين

هناك أمور كثيرة تتعلق بالعاملين ضمن متطلبات الممارسات الزراعية الجيدة، منها ما يلى:

١- تدريب العاملين الجدد باستمرار على إجراءات الصحة العامة، وكيفية منع التلوث الميكروبى للمنتجات التى يعملون عليها، وكذلك تذكير قدامى العاملين – على فترات – بتلك الإجراءات، وعلى أن يكون التدريب عمليًا وبلغة واضحة ومفهومة للجميع. وكذلك توفير لافتات بالتعليمات فى مختلف الأماكن التى تتطلب ذلك.

٢- يجب أن ينمى فى العاملين صفة تحمل المسئولية فيما يتعلق بالأمان الغذائى.

٣- توثيق كافة برامج التدريب. وسياسات التطهير، وإجراءات الصحة العامة، وجعلها متاحة للعاملين.

٤- منع العاملين المرضى من العمل لحين شفائهم، ونقل المجروحين للعمل فى مواقع لا تتطلب ملامستهم للمنتج لحين التئام جروحهم.

٥- تدريب العاملين على كيفية غسيل أياديهم ومتى يتعين غسيلها. فغسيل الأيدى يجب أن يتم باستعمال ماء دافئ والصابون الخالى من الروائح العطرية. فتدعك الأيدى بالصابون لمدة ١٥ ثانية مع الاهتمام بالأظافر وما تحتها. ثم تشطف الأيدى باستعمال ماء جار دافئ. ثم تجفف باستعمال مناشف ورقية لا يُعاد استخدامها. ويجب غسيل الأيدى قبل بدء العمل. وبعد أى فترة غياب عن موقع العمل، وبعد التمخط أو لمس الوجه. وبعد استعمال دورة المياه. وبعد فترات الراحة. وكذلك بعد التعامل مع منتجات لم تنظف بعد. وبعد صيانة أى معدات أو بعد الإمساك بأى شئ من على الأرض.

٦- توفير عدد كافٍ من دورات المياه الصالحة للاستعمال فى كل من الحقل ومحطات التعبئة.

٧- توفير أغطية للرأس وللذقون الطويلة، وهو أمر مناسب لمحطات التعبئة ولكنه إجبارى فى مصانع المنتجات الطازجة المجهزة للاستعمال.

٨- ضرورة ارتداء العاملين لباس نظيف يوميًّا، يكون خاليًّا من العرق والأتربة. أو على الأقل توفير بلاطى نظيفة لاستعمال العاملين فوق ملابسهم. ويلزم وضع تلك البلاطى فى مكان نظيف خارج دورات المياه عند استعمال العاملين لها.

٩- إذا ارتدى العاملين قفازات فإنها يجب أن تغير فى نفس الأوقات التى تتطلب غسيل الأيدى حتى لا تصبح مصدرًا للتلوث الميكروبى.

١٠- وضع إجراءات للنظافة والصحة العامة للعاملين بالحقل. ومن بين ما يجب أخذه فى الاعتبار منع تناول الأطعمة والتدخين، ومنع التخزين المؤقت للأغذية فى الحقل. وعدم وقوف العمال داخل عبوات الحقل الكبيرة bins. وعدم استخدام الأظافر فى تنظيف المنتجات.

١١- توفير أماكن مناسبة للعاملين لأجل الراحة وتناول الطعام.

المراحيض الصحية

من بين ما تتطلبه الممارسات الزراعية الجيدة بشأن المراحيض الصحية. ما يلى:

١- ضرورة توفير مرحاض واحد - على الأقل - لكل ٢٠ عامل من كل جنس أو لكل عدد أقل من العشرين، وأن تكون هذه المراحيض ثابتة أو يمكن نقلها حسب الحاجة والظروف.

٢- ضرورة توفير أماكن لغسيل الأيدى بنفس عدد المراحيض يتوفر فيها ماء صالح للشرب، وصابون بدون رائحة، ومناشف ورقية لا يُعاد استخدامها. ويجب أن يكون الصابون سائلاً لكى لا يحدث انتشار لأى تلوث جراء تداول الصابونة الواحدة بواسطة عدة عاملين. كذلك يجب أن تتوفر المناشف الورقية فى وعاء خاص dispenser يسمح بجذبها واحدة بعد أخرى. ويجب أن يوضع نظام لتزويد المراحيض وأماكن غسيل الأيدى بالماء النظيف بصورة مستمرة، وللتخلص من المخلفات بطريقة آمنة، مع عمل اللازم لتمكين سيارات تجميع مياه المجارى من الوصول إلى أماكن المخلفات.

٣- يجب أن تكون المراحيض مزودة بوسيلة لغلقها من الداخل ضمانًا للخصوصية.

٤- يجب أن تتوفر المراحيض فى أماكن قريبة من العاملين فلا تبعد عنهم بأكثر من ٤٠٠ متر. وأن يمكنهم استخدامها فى أى وقت أثناء العمل حتى لا يضطرون لقضاء حاجتهم فى الحقل أو قريبًا منه.

٥- ضرورة تنظيف المراحيض بصورة دورية. مع ارتداء العمال القائمين بتنظيفها لملابس تقيهم من التلوث الميكروبى. ويجب أن يتضمن التنظيف إزالة المخلفات ودعك وغسيل الأرضيات والحوائط والمراحيض بالماء والصابون مع استعمال المطهرات، ثم التجفيف. وعلى أن تستعمل فى التنظيف معدات تخصص لهذا الغرض لا تستعمل فى أى غرض آخر.

٦- ضرورة توفير ماء الشرب بالقدر الكافى وفى درجة الحرارة المناسبة لجميع العاملين حتى لا يضطرون إلى جلب المشروبات إلى الحقل أو محطة التعبئة. كما يجب أن يتوفر الماء من مبردة أو فى أكواب لا يُعاد استخدامها.

٧- ضرورة توثيق كل ما يتعلق بالمراحيض وأماكن غسيل الأيدى وتوفير الماء المستخدم فيها واختبارات جودته. وإجراءات تنظيفها ... إلخ.

إجراءات النظافة والصحة العامة الحقلية

من بين إجراءات النظافة والصحة العامة الحقلية التى تتطلبها الممارسات الزراعية الجيدة، ما يلى:

١- استخدام أوعية يمكن غسيلها وتنظيفها بسهولة مثل الأوعية البلاستيكية. مع التخلص التدريجى من كل ماعدا ذلك من الأوعية الخشبية، ومختلف المنسوجات التى يصعب تنظيفها. يجب أن تكون الأوعية مصنوعة من مواد غير سامة وأن تكون خالية من مواد مثل المسامير والدبابيس.

٢- ضرورة فحص العبوات واستبدال التالف منها بصورة منتظمة.

٣- تنظيف العبوات وتطهيرها بإجراءات قياسية تتضمن الغسيل بالمنظفات الصناعية، ثم الشطف بالماء. ثم التطهير بهيبوكلوريت الصوديوم. ويفضل أن يتم ذلك باستعمال خرطوم تحت ضغط. ويجب ترك الأوعية لتجف فى الشمس.

٤- وضع نظام ثابت لتنظيف المعدات والأدوات المزرعية وتوثيق ذلك حتى لا تصبح مصدرًا لانتشار التلوث. ويتضمن ذلك كل المعدات الكبيرة، والمناضد، والسلال، ومواد التعبئة، والدلاء، والفرش ... إلخ. ونظرًا لأن الشحوم التى تستخدم فى تشحيم المعدات يمكن أن تشكل مصدرًا للتلوث الميكروبى فإنه يفضل استعمال الشحوم التى تحتوى على مضادات ميكروبية مثل بنزوات الصوديوم.

٥- ضرورة تنظيف وتطهير مخازن المنتجات الزراعية قبل استعمالها، مع التأكد من خلوها من القارضات والحشرات وعدم وصول الطيور إليها، ويلزم وضع مصائد لهذا الغرض.

إجراءات الصحة العامة فى محطات التعبئة

من بين إجراءات الصحة العامة التى تتطلبها الممارسات الزراعية الجيدة فى محطات التعبئة، ما يلى:

١- يجب أن تصمم المحطة بطريقة لا تسمح بحدوث تلوث داخلى فيها؛ فيلزم أن يمر المنتج فيها فى خط مستقيم يبدأ من أحد جانبيها بوصول المنتج غير المغسول إلى أن نصل إلى المنتج المجهز النهائى فى الجانب الآخر، وبذا يبقى المنتج المجهز وغير المجهز منعزلين عن بعضهما البعض. فلا يلامسان — أبدًا — نفس الأسطح ولا يتلامسا مع بعضهما البعض.

ويجب أن تكون الأرضيات منحدرة قليلاً لتسمح بصرف الماء السطحى، وأن تزود بالوعات الصرف بأغطية يمكن رفعها لغرض غسيلها وتطهيرها. كما يجب إصلاح أى شقوق أو انخفاضات فى الأرضيات فى الحال لمنع تجمع الكائنات الدقيقة والمخلفات فيها.

أما مواسير الصرف فيجب أن تكون من مواد غير قابلة للصدأ.

ويجب فصل أماكن الصيانة عن أماكن تجهيز المنتجات.

٢- ضرورة وضع برنامج لفحص العبوات الحقلية بمختلف أحجامها بصورة دورية، مع إعطاء أهمية خاصة للخشبية منها. مع العمل على استبدالها تدريجيًّا بأخرى بلاستيكية.

٣- ضرورة توثيق برنامج فحص العبوات الحقلية واستبدال الخشبية منها حسب الضرورة.

٤- ضرورة غسيل العبوات الحقلية وتطهيرها بصورة دورية.

٥- ضرورة تدريب العاملين فى محطة التعبئة على كيفية خفض مخاطر التلوث الميكروبى.

٦- ضرورة أن يكون الماء المستعمل فى محطة التعبئة نظيفًا وخاليًا من الميكروبات الضارة. ويجب التخلص من كل الشوائب التى توجد فى الماء الذى يُعاد استعماله لأن استخدام المطهرات لا يكون مجديًّا معه إن كان به بعض المخلفات العضوية.

٧- ضرورة حماية المنتج من التلامس مع الأجهزة تجنبًا لحدوث أى تلوث ميكروبى.

٨- ضرورة تصميم الأجهزة بحيث يكون من السهل تنظيفها، فلا يوجد بها أماكن يمكن أن تتجمع فيها المخلفات الدقيقة أو يصعب الوصول إليها لتنظيفها وتطهيرها. وأن يكون من السهل فك بعض أجزائها لتنظيفها ثم إعادة تركيبها.

٩- ضرورة بقاء الرافعات الشوكية وحاملات البالتات نظيفة لأنها قد تتلامس مع المنتجات.

١٠- ضرورة بقاء أوعية القمامة مغطاة.

١١- توفير مسافة لا تقل عن ٤٥ سم بين البالتات أو حوافها والحوائط، ليمكن فحص المكان.

١٢- ضرورة تنظيف الأجهزة وفحصها تبعًا لبرنامج وإجراءات توضع لهذا الغرض.

١٣- ضرورة إجراء التنظيف -- دائمًا -- قبل أى عملية تطهير.

١٤- ضرورة تنظيف وتطهير معدات النظافة ذاتها، ويستخدم فى تطهيرها تركيزات عالية من المطهرات مثل ٦٠٠-١٠٠٠ جزء فى المليون من الكلورين، مع تخزينها جافة.

١٥- استعمال شحومات للأجهزة من تلك التى تستخدم مع الأغذية food-grade، مع إضافة مطهر لها. ويراعى عدم الإفراط فى تشحيم المعدات، وخاصة تلك التى تقع فوق خط التعبئة.

١٦- ضرورة مكافحة الآفات (مثل القوارض والطيور والحشرات) تبعًا لبرنامج محدد وموثق يتضمن جدولاً للفحص الدورى وكيفية تسجيل نتائج الفحص، مع ضرورة بقاء محطة التعبئة مغلقة معظم الوقت وأن تكون أبوابها ونوافذها محكمة الإغلاق وعليها سلك ذا شبكية دقيقة، وأن يتم إصلاح أى شقوق فى الحال.

١٧- إجراء ما يعرف بالتطهير البيئى environmental sanitation تبعًا لبرنامج موثق، وهو يتضمن خطة النظافة العامة للحجرات وما بالمحطة من أشياء ثابتة، وأجهزة، وعلى أن يشتمل التنظيف والتطهير الأرضيات والحوائط والأسقف.

١٨- ضرورة أخذ عينات من المنتج للفحص الميكروبى بصورة دورية، على أن يتم

ذلك بطريقة ملائمة. فيقوم بجمع العينة عاملا يرتدى ملابس نظيفة وقفازات معقمة لا يعاد استخدامها. وعلى أن تؤخذ العينات بطريقة لا تسمح بحدوث أى تلوث. وأن ترسل العينات للفحص سريعا قبل أن تتكاثر فيها الميكروبات.

١٩- ضرورة تخزين مواد التعبئة بطريقة لا تعرضها للتلوث الميكروبى.

٢٠- ضرورة تنظيف وتطهير أجهزة التبريد وحجرات التبريد بصورة دورية، مع الاهتمام بمكافحة البكتيريا *L. monocytogenes* التى تتكاثر - خاصة - فى البيئة المبردة.

٢١- ضرورة المحافظة على النظافة العامة فى الحوائط الخارجية لمحطة التعبئة والمساحة المحيطة بها.

٢٢- ضرورة توفير إجراءات النظافة والتطهير فى مكان تحميل البالتات حتى لا يحدث تلوث جراء ملامستها لأرضية غير نظيفة.

٢٣- ضرورة نظافة وتطهير الشاحنات والحاويات من الداخل لمنع التلوث الميكروبى أثناء الشحن.

المنظفات والمطهرات

يراعى بشأن استخدام المطهرات والمعقمات ما يلى:

١- أن تكون حرارة الماء المستخدم فى حدود ٦٠-٧٠°م، فتلك الحرارة تكون أكثر فاعلية. علمًا بأن الحرارة الأعلى تترسب معها الأملاح فى الماء العسر ولا تكون مأمونة العواقب بالنسبة للعاملين.

٢- ضرورة التنظيف السطحى - دائمًا - قبل استعمال أى مطهر.

٣- ضرورة توفر وسيلة لتحديد تركيز المطهرات.

٤- ضرورة تدريب العاملين على كيفية استعمال المطهرات والمعقمات.

٥- ضرورة تعريف العاملين بأخطار المواد الكيميائية المستعملة فى التطهير.

٦– ضرورة تخزين كل المركبات الكيميائية فى مكان آمن يمكن إحكام غلقه، وأن يكون وضعها على حوامل وليس على الأرض أو على رفوف (GAP ٢٠٠٨).

الأساليب التصنيعية الجيدة (الـجى إم بى)

إن اتباع الأساليب التصنيعية الجيدة Good Manyfacturing Practices (اختصارًا: GMP) يعطى للمستهلك تأكيدًا بأن الغذاء المعد للاستهلاك الآدمى آمن وأنه تم تحضيره، وتعبئته، وحفظه بطرق وفى ظروف صحية. وتعد قواعد الـ GMP إجبارية بالنسبة لصناعات المنتجات الطازجة السابقة التجهيز fresh-cut produce، ولكنها اختيارية بالنسبة لمحطات التعبئة والعمليات الحقلية التى تتعامل مع المنتج الكامل غير المجهز. ومع ذلك فإن تطبيقها حتى فى محطات التعبئة يفيد كثيرًا فى زيادة الأمان الغذائى.

ونقدم – فيما يلى – بيانًا ببعض جوانب ومتطلبات الأساليب التصنيعية الجيدة

الأفراد

إن الأفراد العاملين فى مصانع الأغذية يمكن أن يكونوا مصدرًا هامًا للتلوث الميكروبى، ويدخل ضمن ذلك العاملين فى مجالات الإنتاج والصيانة والإشراف والإدارة. ومن مسئوليات إدارة المصنع توعية وتعليم وتدريب جميع العاملين فيه بكيفية التداول الصحى للأغذية. ويجب على جميع العاملين المصابين بالإسهال أو التقيوء أو التقرحات الجلدية أو الحمى أو أى مرض إخبار مرؤسيهم بذلك وأن لا يسمح لهم بالعمل إلى حين شفائهم. ويجب أن يرتدى جميع العاملين بلاطى نظيفة وأن يقوموا بغسل أيديهم جيدًا قبل دخولهم مكان تصنيع الغذاء، وخاصة بعد دخول المراحيض. ولا يسمح باستعمال أى مجوهرات (أقراط وخواتم وسلاسل) أو أقلام أو ساعات يد فى مكان تصنيع الغذاء، نظرًا لأنها قد تسقط من العامل فى الغذاء دون أن يدرى، كما يجب على الجميع ارتداء طواقى للشعر hair restraints.

المبانى

يجب إنشاء مصنع تجهيز الأغذية ومحطات التعبئة بطريقة تسمح بانفصال الأنشطة التى تتداول فيها الأغذية عن البيئة الخارجية. فيجب أن لا يحتوى المبنى نفسه على أى فتحات أو ثغرات يمكن أن تسمح بدخول القوارض أو الحشرات أو الطيور. كما يجب أن تكون الأرضيات المحيطة بالمبنى خالية من الركام المتروك مثل الأجهزة والبقايا النباتية والمخلفات الحيوانية. ويجب أن تكون تلك الأرضيات مبلطة وتتوفر بها وسائل صرف المياه حتى لا تتراكم فيها. كذلك يجب ألا يمر بالمبنى أى طرق ترابية أو غير أسفلتية. ويراعى الحد من النمو النباتى الكثيف بالقرب من المبنى حتى لا يكون مرتعًا لتكاثر القوارض. كما يجب وضع مصائد للقوارض فى محيط الأرض المحيطة بالمبنى مع فحصها بانتظام.

إن أهم عامل يجب أن يتوفر فى تصميم مصانع تجهيز الأغذية ومحطات الأغذية ومحطات التعبئة هو توفر مساحات كافية لعمليات الصحة العامة، فهى يجب أن تصمم بطريقة تسمح بسهولة تنظيفها وتطهيرها. يجب أن تكون الأرضيات والحوائط والسقف من مواد يسهل تنظيفها وغير قابلة للصدأ. وأن تخضع لصيانة مستمرة. يجب أن تكون أركان الأرضيات عند تقابلها مع الحوائط مستديرة قليلاً ليسهل تنظيفها. كما يجب أن تكون الأرضيات من الخرسانة أو القرميد ليمكنها تحمل مرور الآليات عليها، وتحمل مواد التنظيف المستعملة معها. ويجب أن تكون كل الأجهزة المستعملة مصنوعة من صلب لا يصدأ. كما يجب ألا تكون أى تجهيزات مثل المواسير والمصابيح الكهربائية ... إلخ معلقة فوق أماكن العمل وأن تقل الأسطح الأفقية لتلك التجهيزات لخفض تراكم الأتربة وتكثف الماء عليها.

ويفضل دائمًا أن تكون تلك التجهيزات خافية عن العين تحت سقف منخفض. كما يجب أن تُمدّ كل الخراطيم والمواسير والتوصيلات الكهربائية رأسيًّا من السقف حتى لا توفر أسطحًا أفقية كثيرة يمكن أن تتراكم عليها الأتربة. يلزم توفير إضاءة مناسبة

مع تغطية كل اللمبات الكهربائية لضمان عدم تلوث الغذاء باللمبات التى قد تتعرض للكسر.

ويجب أن يكون كل الماء المستعمل فى المكان عالى الجودة، وأن تكون كل توصيلات السباكة بحجم وتصميم مناسبين لإمكان تداول الكميات المرغوب فيها من المنتجات. ولمنع تراكم الماء فى الأرضيات فإنها يجب أن تكون منحدرة قليلاً ومزودة بوسائل صرف للتخلص من الماء الزائد فى أماكن العمل. ويجب أن تكون خطوط الصرف الصحى منعزلة عن تلك المستعملة فى صرف الماء لضمان عدم تلوث مكان العمل بمخلفات الصرف الصحى فى حالة حدوث أى انسدادات.

ويجب توفر عدد كافٍ من المراحيض وأحواض غسيل الأيدى لاستعمال كافة العاملين، وأن لا تفتح دورات المياه على أماكن العمل.

كذلك يجب توفر ماء ساخن صالح للشرب، وصابون بدون رائحة، ومناشف بصورة دائمة. ويتعين تعليق لافتات بتعليمات للعاملين بحتمية غسل أياديهم بعد استعمال دورات المياه. ويتعين عدم دخول العاملين دورات المياه بالقفازات أو السكاكين أو البلاطى أو غيرها من الأدوات التى تستعمل أثناء العمل، مع توفير مكان تخزين مناسب خارج دورات المياه للتخزين المؤقت لتلك الأشياء.

يتعين كذلك مرور أى هواء مستخدم فى التهوية أو التدفئة أو التبريد خلال مرشحات وأن يُدفع الهواء بامتداد الأسقف والحوائط لتبقى جافة وخالية من التكثف المائى.

إجراءات الصحة العامة والتطهير

يعد التنظيف وإجراءات الصحة العامة من أهم العمليات فى مصانع تجهيز الغذاء ومحطات التعبئة. إن التنظيف هو التخلص من كل المخلفات والقاذورات، وإجراءات الصحة العامة هى المعاملات التى تستخدم فيها المطهرات. ولا يمكن أن يكون التطهير

فعالا إلا إذا كانت الأسطح نظيفة. يجب تنظيف وتطهير كل الأجهزة المستخدمة بصورة دورية بواسطة افراد مدربين ومتخصصين.

ويتكون أى برنامج للصحة العامة والتطهير من عنصرين أساسيين. هما: برنامج أساسى، وبرنامج متابعة (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

إجراءات التطهير والنظافة وتعزيز الصحة العامة والبيئة الصحية

تعرف إجراءات التطهير والنظافة القياسية لتعزيز الصحة العامة والبيئة الصحية باسم Sanitation Standard Operating Procedures (اختصارًا: SSOPs)، وهى إجراءات أساسية وحتمية بالنسبة لأى عمليات يتم فيها تداول منتجات الخضر والفاكهة الطازجة؛ لأجل تحقيق الأمان الصحى فيها من التلوث الميكروبى، وخاصة تلك التى تسبب أمراضًا للإنسان.

الأسس العامة

يجب أن يكون هناك برنامجا مكتوبًا بإجراءات الصحة العامة لضمان تنظيف وتطهير كافة أماكن تداول المنتجات بانتظام. ويجب أن تتضمن الخطة أو البرنامج الأساسى الأماكن المعنية بالإجراءات. وطريقة التطهير، والأدوات والمواد التى تستخدم، ومعدل تكرر التنظيف.

ويتضمن التنظيف والتطهير خمس خطوات، هى:

١- إزالة المخلفات.

٢- الشطف بالماء.

٣- الغسيل بمسحوق للتنظيف.

٤- شطف ثانٍ.

٥- التطهير.

ومن الأهمية بمكان إجراء كافة عمليات التنظيف وإزالة المتبقيات وأجزاء الأغذية قبل أى تطهير، ذلك لأن المواد العضوية تثبط فعل عديد من المطهرات. فما أن تزال أجزاء المنتج الكبيرة من أى مُعِدَّة، فإنه يتعين غسيلها بماء صالح للشرب للتخلص من الأجزاء الصغيرة، ويلى ذلك استعمال الصابون والمنظفات. كما يجب حك الأجهزة حكًا خفيفًا للتخلص من أى بقايا نباتية متصلبة عليها أو أى أغشية بكتيرية (طبقات من البكتيريا أو biofilms) قد تتواجد بها. ويجب أن تكون أنواع الصابون والمنظفات المستخدمة من تلك المسموح بها للاستعمال على الأسطح التى تلامس الأغذية. ويلى التنظيف إزالة الصابون والمنظفات بالشطف بماء صالح للشرب. ويلى ذلك تطهير الأجهزة لقتل الميكروبات، وذلك بشطف كافة الأسطح التى تلامس الغذاء بمواد قاتلة للبكتيريا، مثل الكلورين، والأيودين iodine، والـ quaternary ammonia.

ويتوفر عديد من مركبات التنظيف والتطهير للاستخدام فى مصانع تجهيز الأغذية ومحطات التعبئة، وهى تقع فى خمس فئات، كما يلى:

١- المواد المخلبية chelators. وهى تربط الكاتيونات والأملاح، مثل EDTA.

٢- القواعد alkalines، وهى منظفات ممتازة مثل أيدروكسيد الصوديوم.

٣- الأحماض acids، وهى تُزيل الترسبات المعدنية مثل حامض الفوسفوريك.

٤- المواد المبللة wetting agents، وهى مواد مستحلبة وتخترق التربة مثل alkyl sulfates.

٥- مطهرات sanitizers. وهى تقتل الميكروبات مثل هيبوكلوريت الصوديوم.

ومن أهم المطهرات الكلورين والأيودين والـ quaternary ammonia compounds، وبعضها مثل الـ quaternary ammonia compounds تعد أكثر فاعلية ضد بعض البكتيريا مثل *Listeria monocytogenes*، ولكنها أقل كفاءة ضد أنواع بكتيرية أخرى مثل الـ *Salmonella*.

يُعد الكلورين أكثر المطهرات استخدامًا علمًا بأنه يُستعمل بتركيز ١٠٠–٢٠٠ جزء فى

المليون. ومن الأهمية بمكان أن يكون الماء المحتوى على الكلورين ذو pH ٦-٧. وأن لا يكون محتوي على ى مدة عضوية وإلا فقد فاعليته

ونقدم – فيما يلي مقارنة بين بعض المطهرات الشائعة الاستعمال

الكلورين:

- جيد الفاعلية ضد البكتيريا الموجبة لصبغة جرام، مثل: الـ lactics، والـ clostridia، والـ *Bacillus*، والـ *Stephylococci*.
- من أفضل المطهرات ضد البكتيريا السالبة لصبغة جرام، مثل: الـ *E. coli*، والـ *Salmonella*، والـ psychrotrophs.
- من أفضل المطهرات ضد كل من الخمائر والجراثيم الفطرية والفيروسات.
- يسبب تآكل الأجهزة والمعدات.
- لا يتأثر بالماء العسر.
- يسبب التهابات للجلد عند تركيزات تزيد عن ١٠٠ جزء في المليون.
- الحد الأقصى الذى يُسمح باستعماله دون الحاجة لشطف المنتج بالماء: ٢٠٠ جزء في المليون.
- تتأثر فاعليته بشدة بالمادة العضوية.
- من أرخص المطهرات.
- من السهل اختبار تواجد المادة الفعالة.
- لا يكون ثابتًا في حرارة تزيد عن ٦٠°م.
- لا يترك متبقيات نشطة.
- غير متوافق مع كل من الفينولات والأمينات والمعادن الطرية soft metals.
- فعال عند pH: ٦,٥، وتنخفض نسبة الكلورين النشط من ٩٠٪ عند pH = ٦.٥، ليصبح ٧٣٪ عند ٧,٠، و ٦٦٪ عند ٧,٢، و ٤٥٪ عند ٧,٦، و ٢١٪ عند ٨,٠، و ١٠٪ عند ٨,٥.

الأيودين:

- من أفضل المطهرات فاعلية ضد البكتيريا الموجبة لصبغة جرام.
- جيد الفاعلية ضد البكتيريا السالبة لصبغة جرام.
- جيد الفاعلية ضد الخمائر والفيروسات.
- ضعيف الفاعلية ضد الجراثيم الفطرية.
- ضعيف التأثير كعامل مسبب لتآكل المعدات.
- يتأثر قليلاً بالماء العسر.
- لا يسبب التهابات للجلد عند التركيزات المستخدمة منه.
- الحد الأقصى الذى يسمح باستعماله دون الحاجة لشطف المنتج بالماء: ٢٥ جزءًا فى المليون.
- يتأثر قليلاً بالمادة العضوية.
- رخيص نسبيًّا.
- من السهل اختبار تواجد المادة الفعالة.
- غير ثابت على حرارة تزيد عن ٦٥°م.
- يترك متبقيات نشطة.
- غير متوافق مع النشا والفضة.
- لا يكون فعالاً عند pH = ٧٫٠.

الـ QACs (الـ Quaternary Ammonium Compounds):

- جيدة الفاعلية ضد البكتيريا الموجبة لصبغة جرام.
- ضعيفة الفاعلية ضد البكتيريا السالبة لصبغة جرام.
- جيدة الفاعلية ضد الخمائر. ومتوسطة الفاعلية ضد الجراثيم الفطرية، وضعيفة الفاعلية ضد الفيروسات.
- لا تسبب تآكل للمعدات.

- طراز A (alkyl dimethyl ammonium chloride) لا يتأثر بالماء العسر. وطراز B (methy dodecyl benzyl trimethyl ammonium chloride) يتأثر بالماء العسر.
- لا تحدث التهابات بالجلد.
- الحد الأقصى الذى يسمح باستعماله دون الحاجة لشطف المنتج بالماء: ٢٠٠ جزء فى المليون.
- أقل المطهرات تأثرا بالمادة العضوية.
- مكلفة.
- من الصعب اختبار تواجد المادة الفعالة.
- ثابتة فى حرارة تزيد عن ٦٥°م.
- تترك متبقيات نشطة.
- غير متوافقة مع المواد الناشرة الأنيونية والصابون والخشب والملابس والسليليوز والنيلون.
- فعالة فى pH = ٧,٠.

المواد الناشرة الأنيونية (Acid Anionic):

- جيدة الفاعلية ضد كل من البكتيريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام والخمائر، ومتوسطة الفاعلية ضد الجراثيم الفطرية. وضعيفة التأثير ضد الفيروسات.
- ضعيفة التأثير كعامل مسبب لتأكل المعدات.
- قليلة التأثر بالماء العسر.
- تسبب التهابات بالجلد.
- الحد الأقصى الذى يُسمح باستعماله دون الحاجة لشطف المنتج بالماء: ٢٠٠-٤٠٠ جزء فى المليون حسب المادة الناشرة.
- تتأثر بعض الشئ بالمادة العضوية.
- مكلفة.
- من الصعب اختبار تواجد المادة الفعالة.

- ثابتة فى حرارة تزيد عن ٦٥°م.
- تترك متبقيات فعالة.
- غير متوافقة مع المواد الناشرة الكاتيونية والمنظفات القلوية.
- غير فعالة عند pH = ٧,٠.

حامض بيروكسى الخليك Peroxyacetic Acid:

- ضعيف التأثير كعامل للتآكل.
- لا يلهب الجلد.
- فعال فى كل من المجالين الحامضى والمتعادل.
- يتأثر جزئيًا بتواجد المادة العضوية.
- يتأثر قليلاً بعسر الماء.
- لا يترك متبقيات.
- متوسط التكلفة.
- غير متوافق مع المواد المختزلة. وأيونات المعادن، والقلويات القوية.
- الحد الأقصى للتركيز المسموح به دونما حاجة إلى الشطف بالماء: ١٠٠–٢٠٠ جزء فى المليون.
- غير حساس لحرارة الماء (Edmunds وآخرون ٢٠٠٨).

برنامج المتابعة

تجب متابعة كفاءة العاملين فى مجال الصحة العامة والتطهير بصورة دورية قبل التشغيل يوميًا للتأكد من أن كل الظروف صحية تمامًا. وأول خطوات المتابعة هى بالفحص العينى للكشف عن بقايا الأغذية أو المواد الغريبة فى معدات التشغيل. وبخاصة فى الأماكن التى يصعب تنظيفها، مثل الأسطح السفلية للسيور المتحركة وآلات التقشير. هذا .. إلاّ أن الفحص العينى ليس كافيًا.

ويتعين تقدير أعداد الميكروبات المتبقية على الأجهزة - بصورة منتظمة - بأحد ثلاث طرق كما يلي:

١- طريقة مس السطح بطبق بترى.

يستخدم لهذا الاختبار أطباق بترى أو أغشية تحتوى على بيئة آجار خاصة لنمو نوعيات معينة من الميكروبات. يضغط طبق بترى أو الغشاء على السطح الذى يمكن أن يلامسه الغذاء. ويسجل المكان. ويلى ذلك تحضين الطبق فى المختبر. حيث يظهر النمو البكتيرى على الآجار إن كان هناك تلوث على السطح المختبر. ويستدل على جودة عملية التنظيف من قلة أعداد المستعمرات البكتيرية النامية بكل سنتيمتر مربع من سطح الآجار.

٢- طريقة مسح الأسطح:

يستخدم فى هذا الاختبار ممسحة صغيرة معقمة ومبللة (تتوفر تجاريًا) فى مسح مساحات محددة من الأسطح التى يمكن أن يلامسها الغذاء، ثم توضع الممسحة فى بيئة مغذية سائلة وتحضّنا معًا، ثم تقدر أعداد البكتيريا فى أطباق بترى.

طريقة الاستشعاع البيولوجى:

يُستفاد من طريقة الاستشعاع البيولوجى biolumescence فى الحصول على نتائج الفحص الميكروبى فى الحال. تعتمد هذه الطريقة على تقدير كمية الـ ATP التى تتواجد على الأسطح التى يمكن أن يلامسها الغذاء. يتواجد الـ ATP فى جميع الخلايا الحية؛ ولذا .. فهو دليل جيد على تواجد المادة العضوية. يتم مسح الجهاز بالممسحة المعقمة المبللة كما فى الاختبار السابق، ثم تقدر كمية الـ ATP فيها باختبار كيميائى تستخدم فيه عدة اختبار test kit تتوفر تجاريًا (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

استراتيجيات التخلص من الحمل الميكروبى بالمنتجات الطازجة

الغسيل مع استعمال المطهرات

إن غسيل المنتج قبل تجهيزه أمر مرغوب فيه، ولكنه لا يضمن أن يصبح المنتج خالٍ من التلوث الميكروبى. ولقد أظهرت الدراسات أن غسيل المنتج فى ماء بارد مكلور

يخفض أعداد الميكروبات بمقدار ١٠٠ إلى ١٠٠٠ مرَّة (٢ إلى ٣ log). إلا أن التخلص التام منها لا يتحقق لأن الكائنات الدقيقة تلتصق بأسطح المنتجات. وقد تتواجد في زوايا وشقوق ميكرسكوبية منعزلة على سطح المنتج.

ويعد ذلك الأمر مشكلة نظرًا لأن السلالة البكتيرية *E. coli* O157:H7 يمكنها إصابة الإنسان إذا توفر منها من ١٠–١٠٠ خلية حية فقط. وإلى الآن لا توجد معاملات غسيل يمكنها التخلص التام من مسببات أمراض الإنسان من المنتجات الطازجة. كذلك فإن مياه الغسيل يمكنها – إن لم تكن كاملة النظافة – أن تكون مصدرًا للتلوث الميكروبي في كل جزء من المنتج الطازج يمر على هذا الماء (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

وتؤثر خشونة سطح المنتج على معدل خفض العدّ الميكروبي بالغسيل؛ فنجد – مثلاً – أن الكنتالوب – ذات السطح الخشن – يكون أقل كثيرًا في معدل الانخفاض في العدّ الميكروبي بالغسيل مقارنة بالانخفاض في العدّ الميكروبي في التفاح ذى السطح الناعم (Wang وآخرون ٢٠٠٧).

التطهير بالكلورين

استعمالات الكلورين

إن الاستعمال الرئيسي للكلورين هو لأجل تثبيط أو تدمير مسببات الأمراض من البكتيريا والفطريات والفيروسات التى قد تتواجد على البذور والعقل وفى ماء الرى وعلى معدات الزراعة والأسطح التى تتلامس مع المحصول. كما يستخدم الكلورين على نطاق واسع فى شتى معاملات ما بعد الحصاد لمنتجات الخضر (جدول ١–٥). وهو فعال ومُتاح وليس مكلفًا.

جدول (١-٥): استعمال الكلورين كمطهر أثناء الإنتاج وحتى تسويق الخضر والفاكهة الطازجة (عن Suslow ٢٠٠٨).

المستهدف بالتطهير	الطريقة	التركيز (جزء فى المليون)	الكائنات الدقيقة المستهدفة	شيوع المعاملة
البذور	النقع	٢٠٠-٢٠٠٠٠	فيروسات - بكتيريا - فطريات	شائعة
العقل	الرش - النقع	٢٠-٤٠	بكتيريا - جراثيم فطرية	محدودة
أدوات عمل العقل	الغمس - الرش	٢٥-١٠٠	بكتيريا - جراثيم فطرية - فيروسات	شائعة
أدوات التطعيم	الغمس - الرش	٢٥-١٠٠	بكتيريا - جراثيم فطرية - فيروسات	شائعة
الإكثار الآلى	شفرات تقطيع تقاوى البطاطس	٥٠-١٠٠	بكتيريا	محدودة
إنتاج الشتلات	ماء الرى	١.٠-٢.٥	بكتيريا - فطريات ال *Pythium* وال *Phytophthora* وال *Colletotrichum*	محدودة
الأحذية	الغمس			
المزارع المائية	الرى - ماء الرسمدة - ماء المحاليل المغذية	٢٥-٥٠	فطريات التربة	لم تعد شائعة
		٠.٥-١.٥	بكتيريا - فطريات ال *Pythium* وال *Phytophthora* وال *Colletotrichum*	محدودة
إدامة خراطيم التنقيط	الحقن	٥٠-١٥٠	إزالة أغشية النموات البكتيرية ومنع تكوينها	شائعة
تانكات الرش	الغسيل	٥٠-١٥٠	إزالة أغشية نموات الكائنات الدقيقة ومنع تكوينها	محدودة
المعدات الحقلية	الغسيل	٥٠-١٠٠ باستعمال رشاشات تحت ضغط عال	مسببات الأمراض التى تعيش فى التربة	محدودة

تابع جدول (١-٥).

المستهدف بالتطهير	الطريقة	التركيز (جزء فى المليون)	الكائنات الدقيقة المستهدفة	شيوع المعاملة
معدات الحصاد	الغسيل	٥٠–١٥٠	البكتيريا – الجراثيم الفطرية	شائعة
ماء غسيل المنتجات	—	٥٠–٤٠٠	البكتيريا – الجراثيم الفطرية	شائعة
ماء تفريغ شحنات المنتجات	—	٥٠–٤٠٠	البكتيريا – الفطريات – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
ماء الغسيل بالرش	—	٧٥–١٥٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
القفازات	الغمس	٢٥–٧٥	الميكروبات	حلت محلها محاليل الأيودين غالبا
ثلج التبريد	معاملة مصدر ماء الثلج	٢٥–٥٠	البكتيريا الـ coliform – الفيروسات	محدودة
ماء التبريد	—	٥٠–٣٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
أدوات التقشير بالحك	الغسيل	٥٠–٢٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
الخضروات المجهزة للمستهلك	ماء الغسيل والتبريد	٥٠–٢٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
خطوط التعبئة (السيور الناقلة – الحاشيات – الموجهات ... إلخ)	الغسيل – الرش	فوم مكلور أو ماء مكلور	منع تكوين أغشية الكائنات الدقيقة – الحد من الحمل الميكروبى	محدودة
خطوط وبشابير المست فى مراكز التوزيع والعرض بأسواق التجزئة	الحقن	٥–١٠	منع تكون أغشية الكائنات الدقيقة ومنع البكتيريا الـ coliform	شائعة
التقليم والغسيل بأسواق التجزئة	الغسيل	٢٥–٥٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	ليست شائعة

ونقدم – فيما يلى – بيانًا بالمدى الموصى بـه لتركيـز الكلـورين الـذى يستخدم فى تطهير مختلف الخضر والفاكهة الطازجة (Suslow ٢٠٠٨).

المحصول	التركيز (جزء فى المليون)	المحصول	التركيز (جزء فى المليون)
الخضر			
خرشوف	١٠٠–١٥٠	أسبرجس	١٢٥–٢٥٠
فلفل حلو	١٥٠–٤٠٠	بروكولى	١٠٠–١٥٠
كرنب بروكسل	١٠٠–١٥٠	كرنب (مقطع)	١٠٠–١٥٠
جزر	١٠٠–٢٠٠	قنبيط	١٠٠–١٥٠
كرفس	١٠٠–١٥٠	أذرة سكرية	٧٥–١٠٠
خضر ورقية مقطعة	١٠٠–١٥٠	خيار	١٠٠–١٥٠
ثوم مقشر	٧٥–١٠٠	خس آيس برج (مقطع)	١٠٠–١٥٠
خس (مظهر دهنى)	١٠٠–١٥٠	خس (رومين)	١٠٠–١٥٠
كنتالوب	١٠٠–١٥٠	عيش غراب	١٠٠–١٥٠
بصل أخضر	١٠٠–١٥٠	البسلة السكرية	٥٠–١٠٠
الفلفل الحار	٢٥٠–٤٠٠	البطاطس (الحمراء والبنية)	٢٠٠–٣٠٠
البطاطس (البيضاء)	١٠٠–٢٥٠	القرع العسلى	١٠٠–٢٠٠
الفجل	٥٠–١٥٠	السبانخ	٧٥–١٥٠
البطاطا	١٠٠–١٥٠	الكوسة	٧٥–١٠٠
الطماطم	٢٠٠–٣٥٠	اللفت	١٠٠–٢٠٠
اليام	١٠٠–٢٠٠		
الفاكهة			
التفاح	١٠٠–١٥٠	الكريز	٧٥–١٠٠
الجريب فروت	١٠٠–١٥٠	الكيوى	٧٥–١٠٠
الليمون الأضاليا	٤٠–٧٥	البرتقال	١٠٠–٢٠٠
الخوخ – النكتارين – البرقوق	٧٥–١٥٠	الكمثرى	٢٠٠–٣٠٠

وتُطهر البذور التى تستخدم فى إنتاج النبت المأكول sprouts بالنقع فى محلول الكلورين (غالبًا مع الحرارة)؛ بهدف وقف النموات البكتيرية والفطرية عند الاستنبات. ويُسمح فى الولايات المتحدة بتطهير بذور البرسيم الحجازى لهذا الغرض بالنقع فى محلول من هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ٢٠٠٠٠ جزء فى المليون. وقد وجد أن هذا التركيز يؤدى فى أنواع كثيرة متباينة من البذور إلى خفض الحمل البكتيرى بمقدار ٦ لوغاريتم مقارنة بالتلوث فى البذور غير المعاملة.

وتعد بعض مسببات أمراض الإنسان — مثل الـ *Chrytosporidium* — شديدة المقاومة للكلورين، ولكن مسببات مرضية أخرى — مثل الـ *Salmonella*، والـ *E. coli*، — تعد حساسة له، ولكنها قد تتواجد فى أماكن يصعب الوصول إليها كالتشققات السطحية فى أديم الثمار. وعمومًا تجب المحافظة على تركيز ٧٥–١٥٠ جزء فى المليون من الكلورين فى ماء الغسيل الذى يجب أن يكون قريبًا من التعادل (pH من ٦.٥ إلى ٧.٥).

وقد كان الكلورين يستعمل فى الماضى بتركيزات عالية لاعتقاد كان سائدًا بأنه لا يترك أى متبقيات فى المنتجات المعاملة به، إلا إنه تبين أنه قد يُحدث أكسدة غير كاملة لبعض المواد العضوية تؤدى إلى تكوين مركبات غير مرغوب فيها مثل الكلوروفورم ($CHCl_3$) أو trihalomethanes أخرى، وهى التى قد تكون مسرطنة عند تواجدها بتركيزات عالية.

ولقد أدى غمر الخس المجهز للمستهلك fresh-cut فى محلول هيبوكلوريت كالسيوم يحتوى على ٥٠ جزءًا فى المليون من الكلورين الحر إلى خفض أعداد الـ *E. coli* (٦.٨ لو وحدة مكونة للمستعمرات/جم) بمقدار ١.٩–٢.٨ لو وحدة مكونة للمستعمرات/جم. كذلك حدث تأثير مقارب لذلك التأثير عند معاملة البروكولى (Behrsing وآخرون ٢٠٠٠).

وإنه لمن الفهم الخاطئ الواسع الانتشار أن ماء الغسيل المكلور ينظف أو يعقم المنتج عند استعماله. فالماء المكلور لا يزيد تنظيفه للمنتج عن ماء الشرب العادى، ولكن

الكلورين يطهر ماء الغسيل ويحافظ على بقاء العد الميكروبى منخفضًا فيه، بما يعنى أن هذا الماء لا يصبح مستودعًا لجراثيم الأعفان والبكتيريا التى يمكن أن تلوث المنتج. وأكثر المركبات استخدامًا كمصدر للكلورين فى مياه الغسيل هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم. ويتوقف النشاط المضاد للميكروبات لهذين المركبين على كمية حامض الهيبوكلوريس hypochlorus acid (HOCl) التى تتواجد فى الماء؛ الأمر الذى يعتمد على pH الماء، ومحتواه من المواد العضوية، ودرجة حرارته. فعند زيادة الـ pH عن ٧,٥ لا يتواجد سوى القليل جدًّا من الكلورين كحامض هيبوكلوريس نشط، ولكنه يتواجد كهيبوكلوريت hypochorite (OCl^-) غير نشط. ولذا .. تجب المحافظة على pH ماء الغسيل بين ٦,٠، و ٧,٥ لضمان تواجد نشاط للكلورين. وإذا ما انخفض الـ pH إلى أقل من ٦,٠ فإنه قد يتكون غاز الكلور الذى يكون مُلهبًا للعاملين. أما المادة العضوية التى قد تتواجد فى ماء الغسيل فإنها تقلل من نشاط الكلورين؛ ولذا .. يتعين تغيير الماء أو ترشيحه على فترات.

ونعرض فى جدول (١-٦) مقارنة بين الكلورين وبعض المطهرات الأخرى لماء الغسيل، والـ pH المناسب لنشاطها، ومدى تأثرها بتواجد المواد العضوية فى الماء المراد تطهيره (عن Gorney & Zagory ٢٠٠٤).

جدول (١-٦): نشاط مختلف مطهرات ماء الغسيل، والـ pH المناسب لنشاطها، ومدى تأثرها بتواجد المواد العضوية.

المادة المطهرة	الـ pH المناسب	مدى الحساسية للمادة العضوية	النشاط البيولوجى
Hyopchlorites	٦,٠-٧,٥	حساسة جدًّا	مؤكسدة
Chlorine dioxide	٦,٠-١٠,٠	حساسة	مؤكسدة
Ozone	٦,٠-١٠,٠	حساسة نوعًا ما	مؤكسدة
Peroxyacetic acid	١,٠-٨,٠	حساسة نوعًا ما	مؤكسدة
UV light	لا يؤثر	حساسة نوعًا ما	تعطل الدنا

وبينما لم تكن للمعاملة بهيبوكلوريت الصوديوم تأثير جوهرى على معدل تنفس الجزر والكرات والكرنب، إلا أنها رفعت معدل التنفس فى الخس الآيس برج من ٠,٣٠ إلى ٠,٤٦ مللى مول أكسجين/كجم فى الساعة. هذا بينما لم يغير غسيل الكرات والخس الآيس برج والجزر بحامض البيروكسى أستيك peroxyacetic acid من معدل تنفسها، ولكنه أدى إلى خفض المعدل فى الجزر والكرنب إلى أقل من نصف ما كان عليه قبل بدء المعاملة. وبالمقارنة .. فقد أنقصت معاملة الكرات والكرنب بالماء المعامل (neutral electrolysed oxidising water) المحتوى على ٣٠ جزءًا فى المليون من الكلورين الحر .. أنقصت معدل التنفس فيهما (Vandekinderen وآخرون ٢٠٠٨).

مصادر الكلورين

يتوفر الكلورين تجاريًّا فى ثلاثة مصادر يُسمح باستخدامها، وهى:

١– غاز الكلورين:

يعد الغاز المضغوط أقل مصادر الكلورين تكلفة، ولكن يقتصر استعماله على العمليات الكبيرة لاحتياجه لمعدات خاصة فى الحقن ومراقبة الـ pH، نظرًا لأنه يخفض pH الماء إلى أقل من ٦,٥. يستخدم غاز الكلورين فى الحالات التى تزيد فيها احتمالات تواجد التربة والمتبقيات النباتية والثمار المتعفنة كما فى المراحل الأولى للغسيل والتدريج. حيث يحقن غاز الكلورين فى أكثر من مرحلة للمحافظة على تركيز مناسب منه.

٢– هيبوكلوريت الكالسيوم ($CaCl_2O_2$):

يعد هيبوكلوريت الكالسيوم أكثر مصادر الكلورين شيوعًا فى الاستعمال لتطهير المنتج والماء المستعمل معه، وهو يتواجد عادة بتركيز ٦٥٪ أو ٦٨٪ مادة فعالة، وعلى صورة مسحوق محبب أو حبوب مضغوطة أو حبوب بطيئة التيسر. يفضل دائمًا إذابة الكمية المرغوب فيها من هيبوكلوريت الكالسيوم فى ماء دافئ قبل المعاملة بها للتأكد من اكتمال ذوبانها، لأن عدم ذوبانها قد ينشأ عنه حالات سمية للمنتج على صورة فقدان للون واحتراق. وتجدر الإشارة إلى أن هيبوكلوريت الكالسيوم يفيد – كذلك – فى تحسين القدرة التخزينية والمقاومة للأمراض بدخول الكالسيوم فى تركيب الجدر الخلوية.

٣- هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl):

يستخدم هيبوكلوريت الصوديوم – عادة – في العمليات المحدودة، وهو يوجد بتركيز ٥,٢٥٪ أو ١٢,٧٥٪ مادة فعالة فى صورة سائلة، ذلك لأن الصورة الصلبة تمتص الرطوبة سريعًا من الهواء؛ لينطلق منها غاز الكلورين. ورغم توفر هيبوكلوريت الصوديوم فى سوائل التنظيف المنزلية (مثل الكلوراكس) فإنه لا يُسمح باستعمالها.

وبالإضافة إلى المصادر التى تقدم بيانها يستخدم – كذلك – ثانى أكسيد الكلورين (ClO_2) فى التعقيم بتركيز ٣–٥ أجزء فى المليون. يوجد المركب على صورة غاز أصفر إلى أحمر اللون، وهو ذا قدرة عالية على الأكسدة وقابل للانفجار عند تركيز ١٠٪ أو أعلى من ذلك؛ لذا فإنه يحتاج إلى خبرة كبيرة فى طريقة استعماله والتعامل معه (T. Suslow – جامعة كاليفورنيا – ديفز – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وكما أسلفنا .. فإن الصور الرئيسية للكلورين تتضمن هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl)، وهيبوكلوريت الكالسيوم [$Ca(OCl)_2$]، وغاز الكلورين Cl_2. يباع هيبوكلوريت الصوديوم – عادة – كمحلول بتركيز ١٢٪ إلى ١٥٪. أما هيبوكلوريت الكالسيوم فإنه يباع – عادة – كمسحوق أو أقراص بتركيز ٦٥٪، إلا أنه لا يذوب بسرعة – خاصة فى الماء البارد – علمًا بأن الحبيبات غير الذائبة يمكن أن تضر بالخضر والفاكهة. ولمنع حدوث ذلك يذاب المسحوق أولاً فى كمية صغيرة من الماء الدافئ قبل إضافتها إلى تانك الماء. وإذا ما استعملت الأقراص كمصدر مستمر بطئ التيسر من الكلورين، يجب التأكد من وضع الأقراص فى مكان يتحرك فيه الماء جيدًا. ويتوفر غاز الكلورين مضغوطًا فى أسطوانات. ويجب التعامل معه بحرص وتبعًا للتعليمات (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

تحضير التركيز المناسب من الكلورين ومتابعة التركيز

للحصول على تركيز معين من الكلورين باستعمال هيبوكلوريت الصوديوم، فإنه تستعمل الكميات التالية بالملليلتر (سم^3) لكل لتر من المحلول النهائى.

التركيز المستهدف (جزء فى المليون)	ملليلترات هيبوكلوريت الصوديـوم ٥,٢٥٪	ملليلترات هيبوكلوريت الصوديـوم ١٢,٧٥٪
٥٠	١,٠	٠,٤
٧٥	١,٤	٠,٦
١٠٠	١,٩	٠,٨
١٢٥	٢,٤	١,٠
١٥٠	٢,٩	١,٢

وللمحافظة على تركيز مناسب من الكلورين تجب إضافة الكلورين لماء التطهير بصورة مستمرة لتعويض الفاقد فى التفاعلات مع المادة العضوية، والمركبات الكيميائية، والكائنات الدقيقة، وأسطح منتجات الخضر والفاكهة. وتوجد عدة طرق للمحافظة على التركيز المناسب. فتتوفر أجهزة لقياس تركيز الكلورين آليًّا وإضافة الكلورين للماء عند الحاجة لذلك. كما أن أجهزة أخرى تستعمل للمحافظة على الـ pH فى المدى المناسب. وفى كل الحالات تكون الإضافات حسب الحاجة وليس بجرعات منتظمة. ويمكن – كذلك – إجراء تلك العمليات بدقة يدويًّا شريطة إجراء القياسات اللازمة مرة واحدة على الأقل كل ساعة.

وتجدر الإشارة إلى أن معدات قياس الكلورين فى حمامات السباحة تقتصر قياساتها على التركيزات التى تكون فى حدود ١–٥ أجزاء فى المليون، وإذا ما استعملت تلك المعدات فإنه يتعين تخفيف الماء المكلور – بالماء المقطر – ليصبح تركيز الكلورين فى حدود المجال الذى يمكن قياسه بها (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

وتعتمد كثير من محطات تعبئة وتجهيز الخضر على ما يعرف بالـ Oxidation-Reduction Potential (اختصارًا: ORP) – الذى يقاس بالمللى فولت – كوسيلة أساسية لقياس قدرة التطهير فى الماء المكلور، ومدى الحاجة إلى إضافات جديدة من الكلور. يعطى الـ ORP قراءة رقمية تسمح بمراقبة مستوى قدرة التطهير فى الماء المستعمل.

ويستدل من الدراسات أن قراءة للـ ORP قيمتها ٦٥٠-٧٠٠ مللى فولت تعنى إمكان قتل البكتيريا المرضة للمنتجات. والبكتيريا المرضة للإنسان مثل الـ *E. coli*، والـ *Solmonella* فى ثوان قليلة (جدول ١-٧). وكذلك تُقتل الخميرة المتلفة للمنتجات، والفطريات الأكثر حساسية للكلور المنتجة للجراثيم فى نفس مستوى الـ ORP ولكن فى خلال دقائق قليلة. هذا .. إلاّ أن الفطريات المسببة للأعفان الأقل حساسية للكلور. وكذلك بعض مسببات الأمراض للإنسان مثل *Cryptosporidium* تعد شديدة التحمل للكلورين، وكذلك البرومين والأيودين وغيرهم من المؤكسدات الضعيفة. وإذا ما أثبت التحليل تواجد مثل هذه المسببات المرضة للإنسان فإنه يحسن معاملة الماء بالـ peroxyacetic acid أو بالأوزون. ويلزم فى حالة استعمال الأوزون الجمع بين الـ ORP ودليل كميائى لمراقبة تركيز الأوزون (T. V. Suslow — ٢٠٠٧ — الإنترنت).

جدول (١-٧): المدة التى تكفى للقضاء على مختلف الأنواع البكتيرية المرضة للإنسان فى الماء المكلور عند مستويات مختلفة من الــ **Oxidation Reduction Potential** (اختصارًا: **ORP**)

النوع البكتيرى	المدة التى تلزم للقضاء على البكتيريا عند مستويات مختلفة من الـ ORP بالمللى فولت		
	> ٤٨٥	٥٥٠-٦٢٠	> ٦٦٥
E. coli O157:H7	> ٣٠٠ ثانية	> ٦٠ ثانية	> ١٠ ثوان
Solmonella spp.	> ٣٠٠ ثانية	> ٣٠٠ ثانية	> ٢٠ ثانية
L. monocytogenes	> ٣٠٠ ثانية	> ٣٠٠ ثانية	> ٢٠ ثانية
بكتيريا الـ coliform المتحملة للحرارة	> ٤٨ ساعة	> ٤٨ ساعة	> ٣٠ ثانية

العوامل المؤثرة فى نشاط الكلورين

يتأثر مدى نشاط الكلورين بالعوامل التالية:

١- الرقم الأيدروجيننى (الـ pH) للماء:

عند إضافة هيبوكلوريت الصوديوم للماء فإنه يكوِّن أيدروكسيد الصوديوم (N_2OH)

وحامض الهيبوكلوريس hypochlorous acid (HOCl) وجميع هذه الصور للكلورين تنتج حامض هيبوكلوريس (الذى يعرف – كذلك – بالكلورين الميسر أو النشط)، وهو الذى يقتل الكائنات المرضية. وعندما يكون الـ pH مرتفعًا يتحلل حامض الهيبوكلوريس لتكوين أيون الهيبوكلوريس (OCl^-) الذى لا يعد فعالاً كمطهر. وتقيس وسائل تقدير الكلورين الحر كلا من حامض الهيبوكلورين وأيون الهيبوكلوريت، بما يعنى أنها لا تعطى مقياسًا للكلورين الميسر النشط فى قتل الكائنات المرضية. أما محاليل الكلورين التى يزيد الـ pH فيها عن ٨.٠ فإنها لا تكون فعالة نسبيًا ضد مسببات الأمراض. وتحت pH ٦.٠ فإن الكلورين يتسبب فى تآكل الأجهزة بسرعة، وتفقد فاعليته بسرعة. هذا بينما يحافظ pH فى حدود ٧.٠ على نحو ٨٠٪ من الكلورين فى الصورة الميسرة (حامض هيبوكلوريس) مع تكوين القليل جدًا من الغاز. ولذا .. فإنه لأجل التعرف على قدرة محلول الكلورين على التطهير يتعين قياس كلا من الـ pH والكلورين الحر.

ويجب تذكر أن إضافة أى من هيبوكلوريت الصوديوم أو هيبوكلوريت الكالسيوم للماء يرفع الـ pH، بينما إضافة غاز الكلور يؤدى إلى انخفاضه، ولذا .. يتعين تعديل pH محلول الكلورين بعد إضافة مصدر الكلور. ويستخدم – عادة – حامض الأيدروكلوريك أو حامض الستريك لخفض الـ pH، بينما يستعمل أيدروكسيد الصوديوم لرفعه.

٢– تركيز الكلورين:

على الرغم من أن تركيز لحامض الهيبوكلوريس لا يزيد عن ٤٠ جزءًا فى المليون يقتل مسببات الأمراض فى خلال دقيقة واحدة، فإنه تستعمل – عادة – وتركيزات أعلى تتراوح بين ١٠٠، و ١٥٠ جزءًا فى المليون لتعويض الفقد الذى يمكن أن يحدث فى الكلورين الميسر.

٣– مدة التعرض للكلورين:

يقتل الكلورين الميسر بتركيزات عالية مسببات الأمراض فى أقل من دقيقة. بينما يحتاج الأمر لمدة أطول من التعرض للكلورين عندما ينخفض تركيزه.

٤- كمية المادة العضوية فى الماء:

إن تواجد المواد العضوية فى الماء - كالبقايا النباتية - توقف فاعلية حامض الهيبوكلوريس، ويمكن أن تخفض بسرعة من الكلورين الميسر؛ ذلك لأن الكلورين الذى يتحد بالمادة العضوية لا يكون ميسرًا ولكنه يدخل ضمن الكمية المقيسة عند تقدير الكلورين.

٥- حرارة الماء:

يقتل حامض الهيبوكلوريس مسببات الأمراض بسرعة أكبر كلما ارتفعت حرارة الماء، ولكنه يفقد أيضًا بسرعة أكبر فى الحرارة العالية بسبب تفاعله مع المادة العضوية.

٦- أنواع المسببات المرضية والحالة التى توجد عليها:

يكون من السهل قتل الغزل الفطرى والجراثيم النباتية بالكلورين، إلاّ أن الجراثيم يكون من الصعب قتلها. كذلك فإن المسببات المرضية التى قد تتواجد داخل الأنسجة النباتية أو داخل الجروح تكون بمعزل عن الكلورين ولا تقتل (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

توصيات طريقة استعمال الكلورين

يوصى عند استعمال الكلورين فى التطهير ملاحظة ومراعاة ما يلى:

١- لا يستعمل الكلورين إلا إذا كان الماء ضروريًا لعمليات تداول المنتج.

٢- مراعاة عدم زيادة تركيز الكلورين عما ينبغى لأن ذلك يضر بكل من المنتج والعاملين.

٣- يغير الماء المستعمل على فترات متقاربة كلما ازدادت فيه الشوائب من المادة العضوية. ويفضل غسيل المنتج أولاً بالماء غير المكلور إن كان مليئًا بالأتربة والبقايا العضوية قبل استعمال الماء المكلور.

٤- يجب تذكر أن المعاملة بالكلورين لا تفيد فى التخلص التام من كل المشاكل الميكروبية (عن Boyette وآخرين ١٩٩٣).

٥- المحافظة على تركيز للكلورين الحر يتراوح بين ١٠٠، و ١٥٠ جزءًا فى المليون.

٦- المحافظة على الـ pH بين ٦,٥، و ٧,٥.

٧- مراقبة تركيز الكلورين الحر و pH المحلول على فترات قصيرة، ويفضل أن يتم ذلك آليًا، ولكن مع ضرورة معايرة الأجهزة وصيانتها بصورة دائمة.

٨- تصريف المحلول من التانك فى نهاية كل يوم عمل وإعادة ملأه بماء نظيف.

٩- تستعمل كل المركبات الكيميائية تبعًا لتعليمات المنتج.

١٠- تستعمل مناخل فى التانكات للتخلص من البقايا النباتية الكبيرة (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

مساوئ استعمال الكلورين فى التطهير

إن من أهم مساوئ استعمال غاز الكلورين فى التطهير أنه يتفاعل مع ما قد يتواجد فى الوسط من مواد عضوية ليكون trihalomethanes، وهى مركبات مسرطنة (عن Edmunds وآخرين ٢٠٠٨).

بدائل الكلورين مع الخضر المجهزة للمستهلك

إن المعاملة بالكلورين الحر تفيد كثيرًا فى بقاء منتجات الخضر المجهزة للمستهلك بأقل حمل ميكروبى ممكن، إلاّ أن تفاعل الكلورين مع المواد العضوية واحتمال إنتاج مواد غير مرغوب فيها قد يجعل من الضرورى البحث عن بدائل لمعاملة الكلورين. ومن بين البدائل التى ينظر فى أمر الاستفادة منها حاليًا: الأوزون O_3، والأشعة فوق البنفسجية–سى UV-C، والومضات الضوئية القوية intense light pulses، والتركيز العالى جدًا من الأكسجين والـ N_2O. والغازات النبيلة منفردة أو فى توافيق مختلفة (Artés وآخرون ٢٠٠٩).

التطهير بالأوزون

يعد الأوزون من المطهرات القوية. ولطالما استعمل فى تطهير ماء الشرب وحمامات

السباحة، والماء المتخلف عن الصناعة. وقد بدأ منتجي الخضر والفاكهة في استعماله في تانكات تفريغ حمولة المنتج (dump tanks) والتي يمكن أن تكون كفاءته فيها آلاف أضعاف كفاءة الكلورين. يعمل الأوزون على التخلص من جميع الكائنات الدقيقة سواء أكانت مسببات مرضية للإنسان أم للمنتج.

ويعد الأوزون مطهرًا مناسبًا بعد الحصاد. علمًا بأنه يُسمح به للمنتجات العضوية، وهو مركب مؤكسد قوى فعال ضد الميكروبات المقاومة للكلورين، وأسرع فاعلية من التركيزات المسموح بها من الكلورين. ولذا .. فإن المعاملة بالأوزون تعد مناسبة — خاصة — لمعاملات التبريد أو الغسيل التي لا تدوم لفترة طويلة. كذلك فإن تفاعلات الأكسدة التي يدخل فيها الأوزون ينتج عنها عددًا أقل من نواتج التفاعلات عما ينتج في حالة الكلورة.

يجب أن يولَّد الأوزون في موقع العمل وقت الاستعمال، مع توفير وسيلة لمراقبة تركيزه، علمًا بأنه لا يبقى ثابتًا في الماء الصافي لأكثر من ٢٠ دقيقة (Suslow ٢٠٠٠).

التطهير بفوق أكسيد الأيدروجين

يمكن استخدام فوق أكسيد الأيدروجين hydrogen peroxide كمطهر، وذلك بتركيز لا يزيد عن ٠,٠٥٪ (Bachmann & Earles ٢٠٠٠).

ولقد أمكن خفض العدِّ الميكروبي في الكرنب الطازج المجهز fresh-cut بمقدار ٢,٣ لوغاريتم، و ١,٧ لوغاريتم وحدة مكونة للمستعمرات (cfu) لكل جرام بالمعاملة بتركيز ٢ جزء في المليون من ثاني أكسيد الكلورين الغازي، أو بتركيز ٨٠ جزءًا في المليون من peroxyacetic acid على التوالي (Vandekinderen وآخرون ٢٠٠٧).

المطهرات المسموح باستعمالها مع منتجات الزراعات العضوية

من بين المنظفات ومواد التطهير المسموح بها في معاملات بعد الحصاد للمنتجات العضوية ما يلي:

١– حامض الخليك:

يُسمح باستعمال حامض الخليك كمنظف أو مطهر، ويجب أن يكون الخل المستعمل من مصدر عضوى.

٢– الكحول الإثيلى:

يُسمح باستعمال الكحول الإثيلى كمعقم، ويجب أن يُحصل عليه من مصادر عضوية.

٣– كحول الأيزوبروبيل:

يُسمح باستعمال كحول الأيزوبروبيل isopropyl alcohol بصورة مفيدة فى بعض الظروف.

٤– مطهرات الأمونيوم:

من أبرز مطهرات الأمونيوم أملاح رباعى الأمونيوم quaternary ammonium salts، ويسمح باستعمالها فى الأسطح التى تلامس الأغذية وليس مع الأغذية ذاتها. ومع الأجهزة التى تُحدث بها المطهرات الأخرى تآكلاً شديدًا. ويجب أن يتبع التطهير بمركبات الأمونيوم الغسيل بالمنظفات ثم الشطف بالماء. ويجب ألا تُظهر عمليات المتابعة أى أثر للأمونيوم قبل بدء تداول المنتجات سابقة التجهيز.

٥– الهيبوكلوريت:

يسمح باستعمال هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم وثانى أكسيد الكلورين فى تطهير المنتجات العضوية شريطة ألا يزيد تركيز الكلورين عن ٤–١٠ أجزاء فى المليون حسب الجهة المعتمدة.

٦– المنظفات:

يُسمح باستخدام المنظفات للأجهزة، ويدخل ضمنها – كذلك – الناشرات surfactants والمواد المبللة wetting agents.

٧– فوق أكسيد الأيدروجين:

يُسمح باستعمال فوق أكسيد الأيدروجين كمعقم للماء ومعقم للأسطح.

٨- الأوزون:

يعد الأوزون آمن الاستخدام للتعقيم السطحى للمنتجات والأجهزة.

٩- حامض بيروكسى الخليك:

يعد حامض بيروكسى الخليك peroxyacetic acid معقمًا للماء ومعقمًا سطحيًّا للخضر والفاكهة (Suslow ٢٠٠٠).

ونلقى – فيما يلى – مزيدًا من الضوء على استخدام الكلورين مع المنتجات العضوية

إن كل صور الكلورين (مثلاً .. هيبوكلوريت الصوديوم، وهيبوكلوريت الكالسيوم المحبب، وثانى أكسيد الكلورين) هى مواد يفيد استعمالها مع منتجات الزراعة العضوية، ويجب أن يزيد تركيز الكلورين المستخدم عما فى ماء الشرب العادى الآمن، وهو ٤ أجزاء فى المليون من Cl_2 للماء الخارج من عملية الغسيل. ولكن لأسباب تتعلق بالصحة العامة فإن بعض الجهات التى تضع قوانين الإنتاج العضوى سمحت بزيادة التركيز إلى ١٠ أجزاء فى المليون من الكلورين للماء الخارج من عملية التنظيف.

ولأجل أمثل نشاط مضاد للميكروبات مع أقل تركيز من الهيبوكلوريت، فإن pH الماء المستعمل يجب أن يتراوح بين ٦,٥، و ٧,٥. ففى هذا المدى — يتواجد معظم الكلورين على صورة حامض هيبوكلوريس hypochlorous acid (أى HOCl) الذى يعطى أفضل النتائج بالنسبة لقتل الميكروبات فى الوقت الذى يحد فيه من انطلاق غاز الكلورين الخطر والمسبب للالتهابات. ويزيد مستوى غاز الكلورين عن الحدود الآمنة إذا كان المحلول شديد الحامضية.

ويجب أن يستخدم فى تعديل pH الماء مواد طبيعية مثل حامض الستريك، وبيكربونات الصوديوم، والخل.

هذا .. وللحصول على تركيز قدره ١٠٠ جزء فى المليون من الكلورين يضاف ١٦٠ مل (سم٣) من الكلوراكس التجارى لكل ١٠٠ لتر ماء.

وإذا ما استعمل هيبوكلوريت الكالسيوم فإن ذلك يفيد فى تجنب أضرار الصوديوم للمحاصيل الحساسة له (مثل بعض أصناف التفاح)، كما تتوفر أدلة محدودة على أن الطماطم والفلفل الحلو يستفيدان من امتصاصهما للكالسيوم (Suslow ٢٠٠٠).

التطهير بالتعريض للأشعة

يعرف التطهير بالتعريض للأشعة غير الحرارية باسم البسترة الباردة cold pasturization، وهى وسيلة غير عملية وغير مرغوب فيها لعدة أسباب، منها: التكلفة العالية للمعاملة، وعدم توفر الإمكانيات لإجرائها، والأضرار التى تحدثها فى عديد من المنتجات الحساسة لها (فقدان الصلابة)، ورفض المستهلكين لها على الرغم من عدم وجود أى أضرار لها على صحة الإنسان.

ولقد حظيت معاملة الإشعاع بأشعة جاما من مصدر مشع مثل كوبالت ٦٠ باهتمام واسع. ولكن تلك المعاملة – التى قد تؤدى إلى التطهير السطحى للخضر والفاكهة – ليست حلاً لكل المشاكل الميكروبية. نظرًا لأن بعض الميكروبات لا تؤثر فيها حتى أكبر جرعة مسموح بها، وهى كيلوجراى kGy واحد.

تُقتل الميكروبات بالإشعاع حينما تتفاعل الطاقة الإشعاعية مع الماء المتواجد فى الخلايا الميكروبية. لتنتج مركبات ذات قدرة كبيرة على التفاعل تضر بالمادة الوراثية (الدنا) بالخلية. وتقدر قدرة الإشعاع على قتل ميكروب معين بالقيمة D (D-value)، وهى كمية الطاقة التى تلزم لقتل ٩٠٪ من خلايا الميكروب. وبذا .. فإن جرعة مقدارها 2D تقتل ٩٩٪ من خلايا الميكروب ... وهكذا. وطبيعى أن قيمة D تختلف باختلاف الميكروبات.

تتميز بعض الحشرات والمتطفلات (مثل *Cyclospora*، و *Cryptosporidium*) باحتواء خلاياها على كميات كبيرة من الماء والدنا؛ ولذا .. فإنها تُقتل بسهولة بالإشعاع، حيث تبلغ قيمة D بالنسبة لها حوالى ٠.١ kGy. ويعنى ذلك أن جرعة مقدارها ٠.٥ kGy تعطى خفضًا قدره ٥ لو. وفى المقابل .. فإن البكتيريا (مثل الـ *E. coli*، والـ *Salmonella*، والـ *Listeria* وغيرها) يقل محتواها من الدنا وتعد أكثر مقاومة للإشعاع، وتتراوح

قيمة D بالنسبة لها بين ٠,٣ و ٠,٧ حسب البكتيريا. ولذا .. فإنها تتطلب جرعة مقدارها ١,٥ إلى ٣,٥ kGy للوصول إلى خفض قدره ٥ لو فى أعدادها، علمًا بأن الحد الأقصى المسموح به لجرعات الإشعاع فى الخضر والفاكهة هو كيلوجراى واحد. ويعنى ذلك أنه لا يُسمح باستخدام جرعات إشعاع للخضر والفاكهة الطازجة تكون فعالة فى التخلص من مسببات الأمراض. هذا .. فى الوقت الذى يُسمح فيه بجرعات إشعاع تصل إلى ٤,٥ كيلوجراى مع اللحوم الحمراء.

وتُعد البكتيريا المكونة للجراثيم (مثل *Clostridium*، و *Bacillus* وغيرهما) أكثر مقاومة للإشعاع، كما أن الفيروسات (مثل Hepatits، و Norwalk) يستحيل التخلص منها حتى ولو بالجرعات المسموح بها مع اللحوم.

وإذا أضفنا إلى ما تقدم بيانه احتمال تلوث منتجات الخضر والفاكهة بمسببات أمراض الإنسان بعد تعريضها للإشعاع، فإن تلك المعاملة — بالحد الأقصى للجرعة المسموح بها — لا يمكن أن تكون بديلاً للإجراءات الصحية المناسبة لمنع التلوث الميكروبى ابتداءً (Gorny & Zagory ٢٠٠٠).

الهاسب (تحليل المخاطر)

إن الهاسب — أو تحليل المخاطر — HACCP (أو Hazard Analysis Critical Control Points) هو نظام للأمان الغذائى طوِّر بواسطة شركة Pillsbury فى ستينيات القرن الماضى لتقليل المخاطر المرتبطة بالغذاء الذى يتناوله رواد الفضاء فى السفن الفضائية إلى الصفر (zero tolerance). وهو نظام يستفاد منه فى منع التلوث الفيزيائى والكيميائى والميكروبى للأغذية.

ويعد الهاسب المرحلة النهائية لبرنامج أمان غذائى متكامل يتضمن الـ GAP، والـ GMP، والـ SSOPs (وهو الـ Sanitation Standard Operating Procedures)، والأخير برنامج خاص بالتفاصيل الدقيقة لعمليات التطهير ضمن إجراءات الصحة العامة. ولا يمكن أن يكون الهاسب فعالاً إلاّ إذا كانت تلك البرامج الثلاثة مطبقة تمامًا.

هذا .. ولا يوجد حد أدنى أو أقصى لنقاط التحكم الحرجة critical control points (اختصارًا: CCPs) فى أى عملية؛ فالمهم هو التعامل مع كل المخاطر المحتملة. ويمكن تعريف الـ CCP بأنها المخاطر التى يمكن التحكم فيها ضمن برنامج للهاسب.

إن الأمر يتطلب تفهمًا كاملاً لجميع الخطوات التى يمر بها إنتاج الغذاء – بدءًا من زراعته لحين وصوله إلى المستهلك – لأجل التعرف على أفضل الوسائل لمراقبة نقاط التحكم الحرجة.

إن أمان الغذاء هو الهدف الرئيسى من تطبيق نظام الهاسب على عملية ما. ولقد طبقت التقنية ابتداءً للتحكم فى الأخطار الميكروبيولوجية، ولكنها يمكن أن تطبق بنفس السهولة على أى مخاطر أخرى. مثل التلوث الكيميائى، والأجسام الغريبة. وأعقب ذلك تضمين تقنية الهاسب نقاط التحكم فى الجودة Quality Control Points (اختصارًا: QCP)، وهى نقاط التحكم التى تهدف إلى حماية وضمان صفات جودة المنتج، وإلى الحماية من الخداع أو الاحتيال الاقتصادى. ومن الطبيعى أنه يتعين التعرف على جميع نقاط التحكم الحرجة الخاصة بالأمان وأخذها فى الحسبان قبل تضمين الـ QCPs برنامج الهاسب.

يوجد – بطبيعة الحال – عديد من العوامل التى تخرج عن دائرة تحكم محطات التعبئة، بينما هى تؤثر فى جودة الغذاء. ومن أمثلة ذلك أن إنتاج الخضر قد يكون فى مزارع صغيرة تجرى فيها العمليات يدويًا أو فى مزارع كبيرة تجرى فيها معظم العمليات آليًا، الأمر الذى يتباين معه – بشدة – نوعيات المخاطر، مثل استعمال المخلفات الحيوانية فى التسميد، والسماح برعى الحيوانات فيها، ونوعية مياه الرى ... إلخ.

ويمكن تجزئ تحليل المخاطر إلى ثلاثة مكونات، كما يلى:

١– تقييم المخاطر risk assessment:

يُعنى بذلك التقييم العلمى للتأثيرات الصحية السيئة التى قد تنتج عن تعرض الإنسان لمخاطر معروفة أو محتملة. وتتضمن تلك العملية تحديد المخاطر، ووصفها،

وتقييم عملية التعرض لها، وتوصيف المخاطر. تتم عملية التقييم على أسس كمية ونوعية مع تحديد المخاطر المرافقة غير المؤكدة.

٢- إدارة المخاطر risk management:

يُعنى بذلك عملية مقارنة لمختلف البدائل التى يمكن اتباعها، بهدف قبول أو تحجيم، أو تقليل مختلف البدائل لمختلف المخاطر لأجل اختبار وتطبيق الفعل المناسب.

٣- تبادل معلومات المخاطر risk communication:

يُعنى بذلك تبادل المعلومات التى تم التوصل إليها بشأن المخاطر بين القائمين بالتقييم والقائمين بالإدارة والشركاء الآخرين المهتمين بالأمر.

إن الهاسب نظام لتأكيد أمان الغذاء، وليس وسيلة لتأكيد جودته. ويعد منع التلوث الفيزيائى (المادى)، والكيميائى، والميكروبى للمنتج أثناء التعبئة والتجهيز ضروريًّا لتأكيد إنتاج منتج آمن. ويوصى بتخصيص فرد لكل عملية يتم فيها تداول المنتج، لأجل تدريب القائمين بالعمل على نظام الهاسب والإشراف الكامل على تنفيذه. ويجب أن يكون برنامج الهاسب بسيطًا قدر الإمكان وألا يتضمن عددًا كبيرًا من CCPs. هذا مع العلم بأن كل برنامج هاسب يعد فريدًا، ويجب أن يكون مفصلاً على عملية بعينها .

والخطوات السبع الأساسية للهاسب هى كما يلى:

١- عمل تحليل مخاطر.

٢- تحديد الـ CCPs للتحكم فى المخاطر التى تحديدها.

٣- وضع حدود حرجة لكل CCP.

٤- وضع متطلبات مراقبة الـ CCP.

٥- وضع إجراءات تصحيحية لاتخاذها حينما يكون أحد الـ CCPs خارج الحدود الحرجة.

٦- وضع نظام لتسجيل البيانات لتوثيق برنامج الهاسب.

٧- وضع إجراءات للتحقق من أن الهاسب يؤدى وظيفته كما ينبغى له.

تحليل أو تحديد المخاطر

يجب تقييم كل عملية يمر بها المنتج لتحديد المصادر المحتملة للتلوث المادى والميكروبى والكيميائى له. ومن بين الأمور التى تجب تقييمها: عمليات الإنتاج والحصاد، والتداول، والتغليف، والتخزين، والشحن، والتوزيع، ويكون من المفضل أن تؤدَّى هذه الخطوة بواسطة فريق من العاملين فى مجال الإدارة والإنتاج.

تسجيل وتوثيق بيانات الهاسب

يجب تنظيم كل بيانات الهاسب بطريقة تسمح بإمكان الرجوع إليها بيسر وسهولة. على أن تكون مفصلة وشاملة لكل الخطوات الأساسية لبرنامج الهاسب.

إجراءات التحقق من الهاسب

يجب أن تتم بصورة دورية عمليات تقييم للهاسب تتضمن تقييمًا لسجلات الهاسب من خلال فحص عينات عشوائية على فترات منتظمة للتأكد من أن الهاسب يؤدى وظيفته كما ينبغى.

تطبيق الهاسب

نجد – عند التطبيق – صعوبة فى التحكم فى المخاطر التى تحدث طبيعيًّا. فمثلاً .. نجد أن روث الطيور الذى يسقط منها فى الحقول والبساتين يمكن أن يشكل مخاطر لنشر الـ *E. coli* O157:H7 أو الـ *Salmonella*، ولكنها قد لا يمكن اعتبارها CCP لعدم وجود طريقة للتحكم فيها ومنع مخاطرها. كذلك لا توجد وسيلة لحساب وتقدير كم المخلفات لتحديد ما إذا كانت فى الحدود الحرجة أم لا. وينطبق الأمر ذاته على البكتيريا *Clostridium botulinum* فى التربة التى قد تشكل خطرًا، لكن لا يكون من المناسب اعتبار التربة كـ CCP لأنه ليس من الممكن – عمليًّا – تقدير أعداد الجراثيم البكتيرية فى التربة أو التحكم فيها بأى طريقة معروفة. وفى الواقع .. فإن معظم المخاطر الزراعية يكون من المفضل عدم منعها من خلال برامج الحاسب، وإنما يكون من المناسب التعامل معها من خلال برنامج الجاب.

تحديد نقاط التحكم الحرجة للتحكم فى المخاطر التى تم تعريفها

تكون الخطوة التالية فى تطوير برنامج الهاسب عمل تخطيط انسيابى flow diagram للعملية المعنية وتحديد أين يمكن منع كل واحدة من المخاطر التى تم تعريفها. ويلى ذلك تمييز كل نقطة من تلك التى سيتم مراقبتها للتحكم فى مخاطر معينة بأنها CCP.

وضع حدود للـ CCP

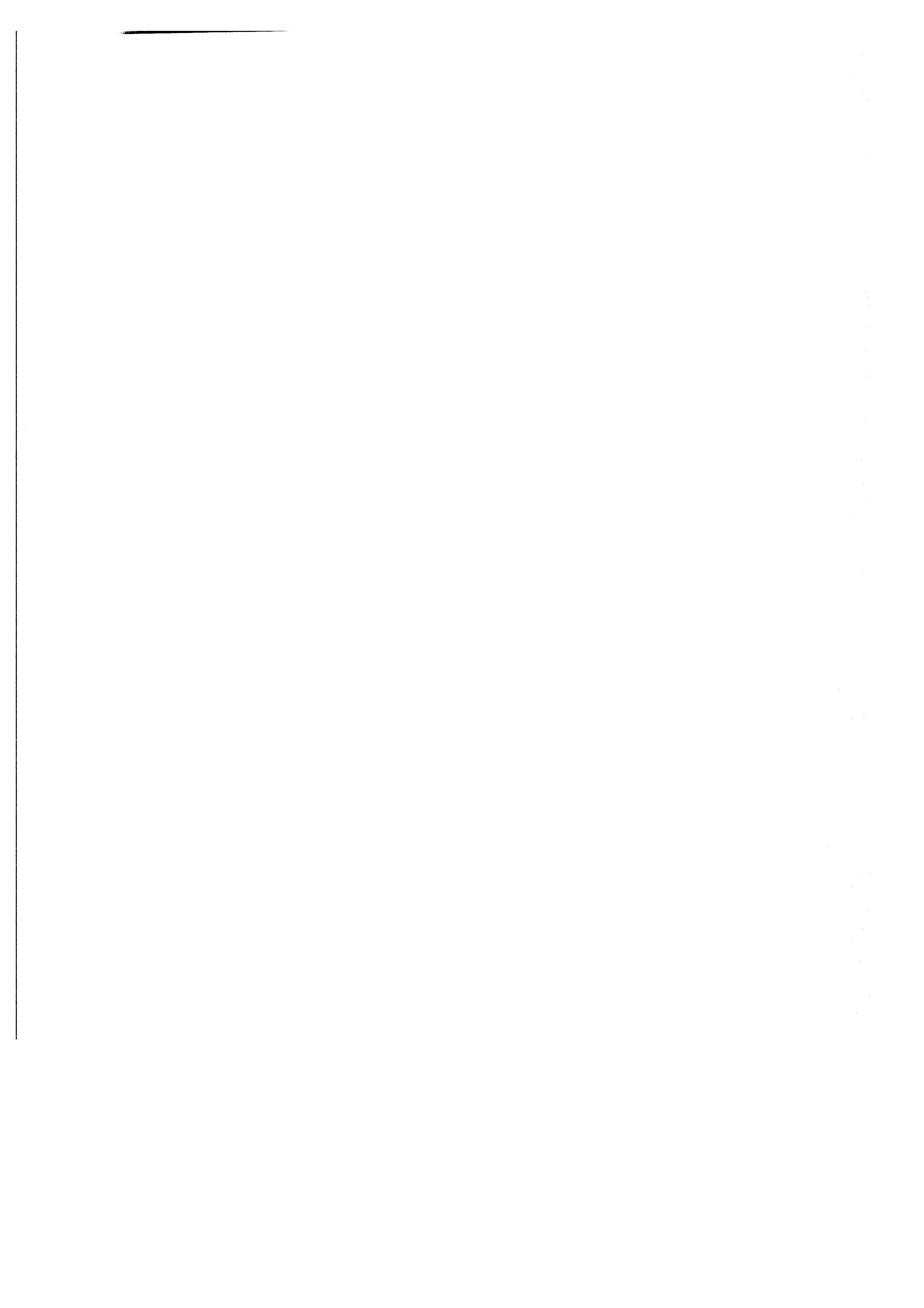
ما أن يتم تحديد الـ CCPs يتعين وضع حدود حرجة لها لتحديد متى يلزم اتخاذ إجراءات تصحيحية بشأنها، وتلك الحدود يجب أن تكون قابلة للملاحظة والقياس.

وضع إجراءات مراقبة وتقييم الـ CCP

إنه لمن الضرورى وضع أسس للمراقبة الدورية، وكيف ستؤخذ القياسات، وماذا يلزم للتوثيق.

الإجراءات التصحيحية إذا حدث انحراف عن الحدود الحرجة

إذا حدث انحراف عن الحدود الحرجة يجب اتخاذ إجراءات تصحيحية للتخلص من مصادر التلوث الممكنة. ويجب تسجيل كل الانحرافات والإجراءات التصحيحية كتابة (Golob وآخرون ٢٠٠٢، و Gorny & Zagory ٢٠٠٤).



الفصل الثانى

الحصاد

المدة من الزراعة إلى الحصاد فى الخضر

يختلف طور النضج المناسب لحصاد الخضر من محصول لآخر، كما يختلف فى المحصول الواحد حسب بعد الأسواق عن مكان الإنتاج، ودرجة الحرارة السائدة، وظروف التخزين، وذوق المستهلك. وتتأثر تبعًا لذلك الفترة من الزراعة للحصاد؛ حيث تتراوح بين نحو ثلاثة أسابيع فى الفجل وحوالى خمسة أشهر، كما فى البطاطا، والكرات أو شوشة. ويوضح جدول (٢-١) عدد الأيام التى تمر –عادة – من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف المبكرة والمتأخرة والمتوسطة فى موعد النضج من محاصيل الخضر المختلفة.

وتتباين الخضر الثمرية بشدة فى المدة التى تمر عادة بين عقد الثمار والحصاد؛ فهى حوالى ٣-٧ أيام فى الأصناف المختلفة من الكوسة، و ٧-١٠ أيام فى الفاصوليا، بينما تصل إلى ٦٠-٨٠ يومًا فى أصناف قرع الشتاء، و ٦٠-١١٠ يومًا فى أصناف القرع العسلى. ويوضح جدول (٢-٢) عدد الأيام من التلقيح إلى حين وصول الثمار إلى مرحلة النضج الاستهلاكى فى الخضر المختلفة (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

جدول (٢-١): عدد الأيام من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف المبكرة والمتأخرة والمتوسطة فى موعد النضج فى محاصيل الخضر.

محصول الخضر	عدد الأيام من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف		
	المبكرة	المتأخرة	المتوسطة
الفول الرومى	—	—	١٢٠
الفاصوليا العادية القصيرة	٤٨	٦٠	—

تابع جدول (٢-١).

محصول الخضر	عدد الأيام من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف		
	المبكرة	المتأخرة	المتوسطة
الفاصوليا العادية الطويلة	٦٢	٦٨	—
فاصوليا الليما القصيرة	٦٥	٧٨	—
فاصوليا الليما الطويلة	٧٨	٨٨	—
البنجر	٥٦	٧٠	—
البروكولى(أ)	٥٥	٧٨	—
كرنب بروكسل(أ)	٩٠	١٠٠	—
الكرنب	٦٢	١٢٠	—
الكاردون	—	—	١٢٠
الجزر	٥٠	٩٥	—
القنبيط(أ)	٥٠	١٢٥	—
السيليرياك	—	—	١١٠
الكرفس	٩٠	١٢٥	—
السلق السويسرى	٥٠	٦٠	—
الشيكوريا	٦٥	١٥٠	—
الكرنب الصينى	٧٠	٨٠	—
الكولارد	٧٠	٨٥	—
الذرة السكرية	٦٤	٩٥	—
حب الرشاد	—	—	٤٥
خيار التخليل	٤٨	٥٨	—
خيار السلطة	٦٢	٧٢	—
الداندليون	—	—	٨٥
الباذنجان	٥٠	٨٠	—
الهندباء	٨٥	١٠٠	—

تابع جدول (٢-١).

محصول الخضر	عدد الأيام من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف		
	المبكرة	المتأخرة	المتوسطة
الفينوكيا	—	—	١٠٠
الكيل	—	—	٥٥
كرنب أبو ركبة	٥٠	٦٠	—
اللفت	—	—	١٥٠
الخس ذو الأوراق الدهنية المظهر	٥٥	٧٠	—
الخس الرومين	٧٠	٧٥	—
الخس ذو الرؤوس والأوراق السهلة التقصف	٧٠	٨٥	—
الخس الورقى	٤٠	٥٠	—
القاوون الكاسابا	—	—	١١٠
القاوون شهد العسل	—	—	١١٠
القاوون الفارسى	—	—	١١٠
القاوون الشبكى	٨٥	٩٥	—
المسترد	٣٥	٥٥	—
السبانخ النيوزيلاندى	—	—	٧٠
البامية	٥٠	٦٠	—
البصل الجاف (الأبصال)	٩٠	١٥٠	—
البصل الأخضر	٤٥	٦٠	—
البقدونس	٧٠	٨٠	—
الجزر الأبيض	—	—	١٢٠
البسلة	٦٥	٧٥	—
البسلة السكرية	٦٠	٧٠	—
الفلفل الحريف(أ)	٦٥	٨٠	—
الفلفل الحلو(أ)	٦٥	٨٠	—

تابع جدول (٢-١).

محصول الخضر	عدد الأيام من الزراعة إلى الحصاد فى الأصناف		
	المبكرة	المتأخرة	المتوسطة
البطاطس	٩٠	١٢٠	—
القرع العسلى	١٠٠	١٢٠	—
الفجل	٢٢	٣٠	—
فجل الشتاء (ذو الحولين)	٥٠	٦٠	—
الروتاباجا	—	—	٩٠
السلسفيل	—	—	١٥٠
اللوبيا	٦٥	٨٥	—
السبانخ	٣٧	٤٥	—
الكوسة الصيفى	٤٠	٥٠	—
قرع الشتاء	٨٥	١١٠	—
البطاطا	١٢٠	١٥٠	—
الطماطم[أ]	٦٠	٩٠	—
اللفت	٤٠	٧٥	—
البطيخ	٧٥	٩٥	—

(أ) يلزم وقت إضافى لإنتاج الشتلة.

جدول (٢-٢): عدد الأيام من التلقيح إلى النضج الاستهلاكى تحت الظروف الجوية الملائمة.

المحصول	المدة باليوم
الفاصوليا	٧-١٠
الذرة: للتسويق الطازج	١٨-٢٣
للحفظ والتصنيع	٢١-٢٧
الخيار: للتخليل	٤-٥
للسلاطة	١٥-١٨

تابع جدول (٢-٢).

المحصول	المدة باليوم
الباذنجان	٢٥–٤٠
القاوون	٤٢–٤٦
البامية	٤–٦
الفلفل: اكتمال التكوين الأخضر	٤٥–٥٥
النضج الأحمر	٦٠–٧٠
القرع العسلى (أصناف مختلفة)	٦٠–١١٠
قرع الكوسة: الزوكينى	٣–٤ [أ]
الاسكالوب Scallop	٤–٥ [أ]
ذات الرقبة الملتوية crockneck	٦–٧ [أ]
قرع الشتاء (أصناف مختلفة)	٥٥–٩٠
الطماطم: النضج الأخضر	٣٥–٤٥
النضج الأحمر	٤٥–٦٠
البطيخ	٤٢–٤٥

(أ) للثمار التى تزن ١٢٥–٢٥٠ جم.

تحديد موعد الحصاد بالوحدات الحرارية المتراكمة

استخدم مبدأ مجموع الوحدات الحرارية heat unit summations أو الدرجات اليومية growing-degree days فى إنتاج محاصيل الخضر التى لا تحتفظ بجودتها لفترة طويلة تحت ظروف الحقل مثل الذرة السكرية، والفاصوليا الخضراء، والخيار، والبسلة، والكنتالوب، والطماطم.

وقد أعتُمِدَ على مبدأ السقف الحرارى فى عام ١٩٥١ لأجل التحكم فى التباينات التى تسببها الحرارة التى تزيد عن الحد الأقصى للنمو النباتى.

يعتمد تقدير مجموع الوحدات الحرارية على كل مما يلي:

١- درجة الحرارة الدنيا التي يتوقف عندها النمو النباتي (درجة حرارة الأساس).

٢- درجة الحرارة العليا (العظمى) التي لا يتغير بعدها النمو النباتي.

٣- درجة الحرارة القصوى التي يثبط بعدها النمو النباتي.

وتحسب الحرارة المتراكمة – عادة – بجمع حاصل طرح متوسط الحرارتين الدنيا والعظمى اليومية من درجة حرارة الأساس.

وقد وجد في الخيار أن أفضل طريقة لحساب الوحدات الحرارية كانت بجمع الفرق بين الحرارة العليا يوميًا ودرجة حرارة الأساس (وهو في الخيار ١٥,٥°م) يوميًا من الزراعة حتى الحصاد، ولكن عندما ارتفعت الحرارة المسجلة عن ٣٢°م (وهي درجة الحرارة القصوى للخيار)، فإن تلك الدرجة استُبدلت بالقيمة ٣٢ (درجة السقف الحراري) مطروحًا منها الفرق بين الحرارة المسجلة و ٣٢، وذلك قبل طرح الأساس من تلك القيمة. وقد خفضت تلك الطريقة معامل التباين coefficient of variation من ١٠٪ في الطريقة العادية إلى ٣٪ (عن Dufault وآخرين ١٩٨٩، و Perry & Wehner ١٩٩٦).

مراحل نضج الثمار

تمر الثمار بمرحلتين أساسيتين للنضج، هما: النضج البستاني، والنضج الفسيولوجي.

١- النضج البستاني Horticultural Maturity:

النضج البستاني هو المرحلة التي يكتمل فيها نمو الثمار وتصبح صالحة للجمع. ويمكنها أن تستمر في القيام بوظائفها بعد الحصاد حتى تكتسب صفاتها المتازة التي تجعلها صالحة للأكل، دون الحاجة إلى أن تظل متصلة بالنبات. وتحدث بعد وصول الثمار إلى مرحلة النضج البستاني تغيرات كيميائية يكتمل بها التكوين الكيميائي الداخلي للثمار، وينشأ عنها اكتساب الثمار لصفاتها التي تجعلها صالحة للأكل. وإذا قطفت الثمار قبل هذه المرحلة، فلا يمكن أن تتغير داخليًا حتى تصبح صالحة للاستهلاك.

ومن أمثلة مرحلة النضج البستانى فى محاصيل الخضر طور الثمار الخضراء المكتملة التكوين فى الطماطم؛ حيث لا تحمر الثمار إذا قطفت قبل وصولها إلى هذه المرحلة، والطور المناسب للحصاد فى أصناف القاوون الشبكى والأملس؛ حيث تصبح الثمار صالحة للاستهلاك بعد أيام قليلة من وصولها إلى تلك المرحلة.

٢– النضج الفسيولوجى Physiological Maturity :

النضج الفسيولوجى هو المرحلة التى يكتمل فيها نضج الثمرة فسيولوجيًّا، وترتفع خلالها سرعة التنفس فجأة بحدوث ظاهرة الكلايمكتريك Climacteric، وتكتمل أثناءها كافة التغيرات الحيوية التى تكسب الثمار الصفات التى تجعلها صالحة للأكل.

وقد يحدث النضج الفسيولوجى بعد قطف الثمار كما فى الحالات التى يكون فيها النضج البستانى قبل وصول الثمار إلى مرحلة النضج الفسيولوجى. وقد يتوافق موعد النضج البستانى مع النضج الفسيولوجى. كما فى ثمار البطيخ وقرع الشتاء والقرع العسلى.

وقد تتفق مرحلة النضج البستانى مع مرحلة النضج المناسبة للاستهلاك مباشرة، ويكون ذلك قبل وصول الثمار إلى مرحلة النضج الفسيولوجى بوقت طويل، كما فى الخيار، والكوسة، والبامية، والبقوليات الخضراء، والفلفل الأخضر، والباذنجان، وكذلك محاصيل الخضر التى تزرع لأجل أجزائها النباتية الأخرى غير الثمار.

ويوضح شكل (٢–١) العلاقة بين مراحل النمو والتطور المختلفة فى الثمار.

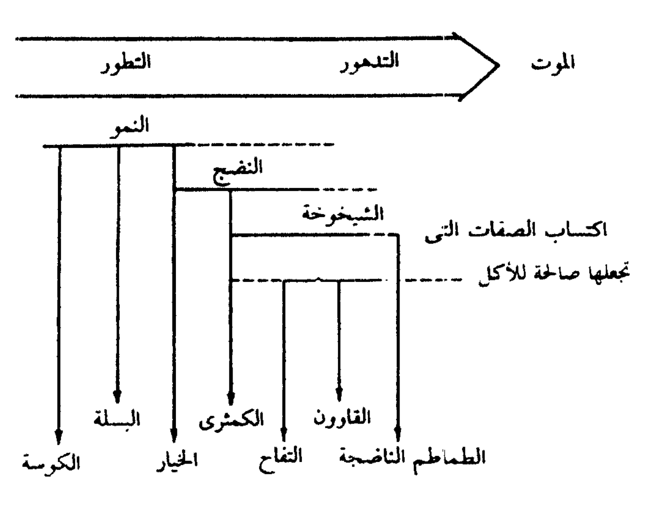
وتحدث – بين مرحلتى النضج البستانى والنضج الفسيولوجى – تغيرات فيزيائية وفسيولوجية، منها:

١– تتحول المواد البكتينية من صورة غير ذائبة إلى صورة ذائبة.

٢– يتحلل الكلوروفيل، وتتكون الصبغات التى تعطى الثمار ألوانها الجذابة.

٣– تزداد الحلاوة بتحول النشا إلى سكر.

٤– تكتسب الثمار طعمها المميز لنقص الحموضة وتوازنها مع السكر.



شكل (٢–١): العلاقة بين مراحل النمو والتطور المختلفة فى الثمار (عن **Wills** وآخرين ١٩٨١).

لكن التغيرات تستمر أيضًا — بعد بلوغ الثمار طور النضج الفسيولوجى، فتزداد ليونة أنسجة الثمرة، ويفسد طعمها، وبذلك تصبح زائدة النضج overripe.

وتجدر الإشارة إلى أن كلمتى: "mature"، و "ripe" تفيدان — فى العربية — معنى النضج، إلا أن علماء فسيولوجيا ما بعد الحصاد يستعملون المصطلحين لوصف مراحل مختلفة من تطور الثمار. فكلمة "mature" يعنى بها: مرحلة اكتمال التكوين، والتى يمكن عندها حصاد المنتج، بحيث لا تقل نوعيته بعد عمليات التداول (بما فيها عملية الإنضاج إن كانت لازمة) — عن الحد الأدنى المقبول لدى المستهلك، وهى مرحلة النضج البستانى التى سبقت الإشارة إليها". أما كلمة "ripe"، فيعنى بها: مرحلة النضج التى يصبح عندها المنتج فى أفضل حالاته للاستهلاك"، وهى مرحلة النضج الفسيولوجى التى أسلفنا بيانها كذلك.

ونجد فى كثير من الفاكهة (الموز — مثلاً — حيث تحصد ثماره وهى خضراء) أن

مرحلة اكتمال التكوين maturity المناسبة للحصاد تكون قبل فترة طويلة من مرحلة النضج ripening المناسبة للاستهلاك. ولكن نجد فى معظم الخضروات أن المنتج يصل إلى مرحلة النضج المناسبة للاستهلاك فى نفس مرحلة صلاحيته للحصاد.

ولمزيد من التفاصيل – حول المصطلحات التى تصف مختلف مراحل نمو، واكتمال نمو، ونضج، وشيخوخة مختلف أنواع المحاصيل البستانية – يراجع Watada وآخرون (١٩٨٤).

العلامات المميزة لمرحلة النضج المناسبة للحصاد

تؤكل ثمار عديد من الخضروات قبل اكتمال نموها، كما فى الكوسة، والخيار، والبامية. وتتوقف صلاحية هذه الثمار للجمع على رغبات المستهلك. فالبعض يفضل الثمار الصغيرة، والبعض الآخر يفضل الثمار الأكبر.

أما بالنسبة للثمار التى يقترب فيها موعد النضج البستانى من موعد النضج الفسيولوجى، فهناك عدة عوامل تؤخذ فى الحسبان لتحديد مرحلة النضج المناسبة للحصاد كالتالى:

١– عمر الثمار: حيث تكمل الثمار نموها ونضجها بعد عمر معين (جدول ٢–٢).

٢– لون الثمار: يختفى اللون الأخضر للثمار عند استكمال نموها، ويبدأ ظهور لون الثمار المميز.

٣– حجم الثمار: يوجد ارتباط بين حجم الثمار وصلاحيتها للحصاد. ويختلف الحجم المناسب باختلاف الأصناف. لكن يمكن تقديره بالمران والخبرة.

٤– شكل الثمار: تأخذ الثمار أشكالاً خاصة تميزها عند استكمال تكوينها.

٥– انفصال الثمار: تنفصل ثمرة القاوون عن العنق انفصالاً جزئيًّا عند بلوغها مرحلة النضج البستانى، وتكون منطقة الانفصال محيطة تمامًا بالعنق عند تمام نضج الثمار.

٦– درجة الصلابة: تلين الثمار مع تقدمها فى العمر. ويمكن تحديد صلاحية الثمار للحصاد من درجة ليونتها.

٧– الأصوات التى تحدثها الثمار عند الطرق عليها، كما فى البطيخ.

٨– ظهور الرائحة المميزة، كما فى أصناف الشمام.

٩– صعوبة فصل القشرة، كما فى البطاطا، والبطاطس.

١٠– الكثافة النوعية، كما فى البطيخ، والبطاطس.

١١– تكوّن طبقة شمعية على سطح الثمرة (الأديم cuticle)، كما فى الطماطم.

١٢– اكتمال تكوين الشبك على سطح الثمرة، كما فى القاوون الشبكى.

١٣– اندماج الأقراص والرءوس، كما فى القنبيط، والبروكولى.

١٤– صلابة الرءوس، كما فى الخس، والكرنب، وكرنب بروكسل.

١٥– تكوّن المادة شبه الجيلاتينية بالثمار، كما فى الطماطم (Kader وآخرون ١٩٨٥).

١٦– التركيب الكيميائى (مثلاً .. محتوى النشا والسكر والأحماض).

١٧– سلوك التنفس وإنتاج الإثيلين.

ونوضح فى جدول (٢–٣) أهم دلائل اكمال التكوين المميزة لعدد من محاصيل الخضر والفاكهة، أما جدول (٢–٤) فيبين الحدود الدنيا لدلائل اكتمال التكوين فى ثمار الفاكهة بولاية كاليفورنيا الأمريكية.

إن اكتمال التكوين عند الحصاد هو أهم العوامل التى تحدد فترة بقاء المنتج صالحًا للاستهلاك بعد الحصاد وجودته (المظهر والقوام والمذاق والقيمة الغذائية).

وتقسم الخضر الثمرية إلى فئتين تبعًا لمواصفاتها العامة واحتياجاتها بعد الحصاد للحفاظ على جودتها، كما يلى:

١– الخضر الثمرية غير المكتملة التكوين:

تتضمن هذه الفئة مجموعتين، هما:

أ– الثمار اللحمية، مثل الخيار والكوسة والباذنجان والفلفل الأخضر.

ب– الثمار غير اللحمية، مثل الفاصوليا الخضراء وفاصوليا الليما واللوبيا الخضراء والبسلة الخضراء والفول الرومى والذرة السكرية والبامية.

جدول (٢-٣): دلائل اكتمال التكوين المميزة لعدد من محاصيل الخضر والفاكهة (عن Wills وآخرين ١٩٩٨).

المحصول	دليل اكتمال التكوين
الكنتالوب الشبكي	انفصال العنق عن الثمرة
البسلة	الوحدات الحرارية المتراكمة – الصلابة
الكاكي	اختفاء المادة القابضة
الطماطم	اللون
الخس	الكثافة ومرحلة التكوين
المانجو	محتوى ومرحلة التكوين
التفاح	محتوى المادة الجافة
البرتقال	الإثيلين الداخلي – اختبار صبغ النشا باليود
الأفوكادو	محتوى العصير – السكر – الأحماض – قراءة الرفراكتومتر
الموز	محتوى الزيت
الكوسة الزوكيني	الشكل
العنب	تكون الطبقة الشمعية واللمعان

جدول (٢-٤): الحدود الدنيا لدلائل اكتمال التكوين لثمار الفاكهة بولاية كاليفورنيا الأمريكية (عن Kader ١٩٩٦).

الفاكهة	الحدود الدنيا لدلائل اكتمال التكوين
التفاح	ارتفاع محتوى المواد الصلبة الذائبة عن ١٠.٥٪ وحتى ١٢.٥٪، وانخفاض الصلابة عن ١٨-٢٣ رطلاً لقوة الاختراق حسب الصنف
المشمش	< ٣/٤ سطح الثمرة بلون أخضر مصفر، أو < ١/٢ السطح أصفر اللون
الأفوكادو	١٧٪-٢٠.٥٪ مادة جافة حسب الصنف
الكريز	كل سطح الثمرة بلون أحمر فاتح، مع ١٤٪-١٦٪ مادة صلبة ذائبة حسب الصنف
العنب	١٤٪-١٧.٥٪ مادة صلبة ذائبة حسب الصنف ومنطقة الإنتاج، أو ارتفاع نسبة المواد الصلبة الذائبة إلى الإحماض إلى ٢٠ أو أكثر

تابع جدول (٢-٤).

الفاكهة	الحدود الدنيا لدلائل اكتمال التكوين
الجريب فروت	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة ٥,٥ (أو ٦,٠ فى المناطق الصحراوية)، و ١/٢٪ سطح الثمرة بلون أصفر
الكيوى	مواد صلبة ذائبة بنسبة ٦,٥٪
الليمون الأضاليا	٣٠٪ عصير بالحجم
النكتارين والخوخ	تغير لون سطح الثمرة من الأخضر إلى الأصفر واكتمال تكوين اكتفاف الثمرة
البرتقال	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة ٨,٠ مع تلون ٢٥٪ من سطح الثمرة بالبرتقالى. أو نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة ١٠,٠ مع لون برتقالى أقل دكنة
الكمثرى (البارتلت)	لون أخضر مصفر، مع أقل من ٣٢ رطل قوة اختراق فى اختبار الصلابة. أو زيادة محتوى المواد الصلبة الذائبة عن ١٣٪
الكاكى	لون أخضر مصفر إلى برتقالى حسب الصنف
البرقوق	اللون الخارجى وصلابة اللحم حسب الصنف
الرمان	العصير أحمر اللون وتقل فيه الأحماض عن ١,٨٥٪
الفراولة	> ١/٢٪ سطح الثمرة بلون وردى أو أحمر
اليوسفى (المندرين)	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة ٦,٥، مع لون أصفر أو برتقالى أو أحمر فى ٧٥٪ من سطح الثمرة

٢- الخضر الثمرية المكتملة التكوين:

تتضمن هذه الفئة مجموعتين – كذلك – هما:

أ- الثمار اللحمية، مثل الطماطم والفلفل الأحمر وقرع الشتاء ذات القشرة الصلبة والقرع العسلى والكنتالوب والبطيخ.

ب- الثمار غير اللحمية، مثل الفاصوليا الجافة، والبسلة الجافة.

تصل جميع الخضر الثمرية المكتملة التكوين إلى أفضل نوعية أكلية لها إذا سمح لها بالنضج على النبات. إلاّ أن بعضها – مثل الطماطم – غالبًا ما تقطف وهى مكتملة

التكوين، ولكن قبل نضجها حتى يمكنها تحمل عمليات التداول عندما تشحن لمسافات طويلة. ويكون نضج الثمار مقبولاً – فقط – إذا حدث بين ١٥، و ٢٥ °م، علمًا بأن معدل النضج يزداد بارتفاع الحرارة فى ذلك المدى، وأن الحرارة المثلى للنضج هى ٢٠–٢٢ °م. ويمكن معاملة الثمار بالإثيلين بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون لمدة ٢٤–٤٨ ساعة لإسراع النضج، مع الحصول على نضج أكثر تجانسًا فى الخضر الثمرية المكتملة التكوين، إلاّ أن التطبيق التجارى لتلك المعاملة يقتصر على الطماطم الخضراء المكتملة التكوين، وبدرجة أقل كنتالوب شهد العسل.

يتميز الكنتالوب بأن مخزونه من النشا قليل للغاية وأن محتواه من السكر لا يزيد إلاّ قليلاً جدًا (< ١٥٪) بعد الحصاد. ولذا .. فإنه من المهم حصاد الكنتالوب (القاوون) – بكل فئاته – عند اكتمال التكوين إلى بداية النضج حيث تكون السكريات قد تراكمت بقدر كافٍ فى الثمار. وعند نضج ثمار الكنتالوب فإن لونها غالبًا ما يتغير (حيث تفقد لونها الأخضر ويظهر بها اللون الأصفر)، وتزداد فيها الرائحة المميزة وتصبح بنوعية جيدة للاستهلاك. ويمكن لثمار الكنتالوب التى تقطف وهى ناضجة جزئيًا أن تُنتج ما يكفيها من الإثيلين لاستكمال نضجها، وبذا .. فإنها لا تحتاج إلى المعاملة بالإثيلين بعد الحصاد.

وبالنسبة للبطيخ فإنه يتعين قطف ثماره وهى مكتملة النضج. وتضار ثمار البطيخ بشدة إذا تعرضت للإثيلين بتركيز يزيد عن ٠,٥ جزءًا فى المليون بعد الحصاد، حيث تصبح إسفنجية ويصبح لبها دقيقيًا ومتهتكًا وردئ المذاق.

لا تغير ثمار الفلفل الخضراء المكتملة التكوين لونها بعد الحصاد (إلى الأحمر أو الأصفر أو غيرها من الألوان التى تتميز بها بعض الأصناف) حتى ولو عوملت بالإثيلين. هذا .. إلاّ أن اللون يتغير فى ثمار الفلفل الحلو التى تُحصد وهى ناضجة جزئيًا، وكلما ازدادت درجة التلوين عند الحصاد كلما ازدادت سرعة اكتمال التلوين بعد ذلك. وأفضل حرارة للتلون هى ٢٠–٢٥ °م. أما تلون الفلفل الحار فإنه يكون أسرع بمعاملة الإثيلين مثل الطماطم (عن Kader ١٩٩٦).

الأمور التى تجب مراعاتها عند الحصاد

يوجد عديد من الأمور التى يجب أخذها – فى الحسبان – عند اختيار الموعد المناسب للحصاد وعند إجراء عملية الحصاد للمحافظة على النوعية الجيدة للمنتجات كالتالى:

ما تجب مراعاته عند اختيار موعد الحصاد

أهم ما تجب مراعاته عند اختيار موعد الحصاد ما يلى:

١– مكان التسويق، والفترة المتوقع مرورها بين الحصاد والتسويق:

فتجمع – مثلاً – ثمار الطماطم فى طور اكتمال التكوين وهى ما زالت خضراء إذا أُريد تسويقها فى أماكن بعيدة عن أماكن الإنتاج، بينما تجمع الثمار وهى حمراء إذا أُريد تسويقها فى نفس اليوم. لكن يجب عدم التبكير أكثر من اللازم فى حصاد بعض الخضروات – مثل: الطماطم، والقاوون عند شحنها للأسواق البعيدة – لأن الثمار يجب أن تصل إلى المستهلك وهى فى حالة ناضجة.

٢– درجة الحرارة السائدة:

فتساعد الحرارة المرتفعة على سرعة النضج، ويلزم لذلك الجمع على فترات متقاربة. ومن أكثر الخضروات تأثرًا بالحرارة المرتفعة عند الحصاد: الأسبرجس، والفاصوليا، والبسلة الخضراء، والذرة السكرية.

٣– وقت الحصاد من اليوم:

فيلزم إجراء الحصاد – للخضروات التى تفقد جودتها بسرعة – فى الصباح الباكر مع حفظها باردة قدر الإمكان. كما يجب عدم ترك الثمار معرضة للشمس بعد جمعها.

٤– مرحلة النضج المناسبة للحصاد:

فبعض الخضروات تتدهور نوعيتها – كثيرًا – لو تأخر حصادها عن الموعد المناسب ولو ليوم واحد، كما فى الفاصوليا، والبسلة الخضراء، والذرة السكرية. وتكون هذه المشكلة واضحة بصفة خاصة فى الجو الحار. كما تنحط جودة بعض الخضروات

الأخرى، كالقنبيط، وتتعرض رءوس الخس للإزهار، وتتفتح رءوس الكرنب فى حالة تأخير حصادها.

أما الخضر الجذرية، فإنها تزداد كثيرًا فى الحجم إذا تركت دون حصاد بعد وصولها إلى المرحلة المناسبة، ويؤدى ذلك إلى زيادة المحصول زيادة كبيرة، لكن مع انخفاض النوعية. وعمومًا .. فإن موعد الحصاد قد يمتد إلى عدة أسابيع حسب حاجة السوق، كما فى الجزر والبنجر.

وبعض الخضروات – مثل خيار التخليل، والفاصوليا الخضراء – تكون نوعيتها أفضل عند حصادها وهى صغيرة، ولكن المحصول يكون منخفضًا. وفى هذه الحالات يتحدد موعد الحصاد بالنوعية المطلوبة والسعر المعروض لها.

ما تجب مراعاته عند إجراء عملية الحصاد

أهم ما تجب مراعاته عند إجراء عملية الحصاد ما يلى:

١– منع الأضرار الميكانيكية:

فيلزم منع حدوث الأضرار الميكانيكية كالخدوش والجروح بالمنتجات البستانية عند الحصاد؛ لأن ذلك يقلل من نوعيتها، ويجعلها أكثر عرضة للإصابة بالأمراض، كما يزيد فقد الرطوبة من الأسطح المقطوعة، ويتحقق ذلك باتباع ما يلى:

أ– استخدام عمال متمرنين، واستعمال قفازات أثناء الجمع لمنع جرح الثمار بالأظافر.

ب– تجنب جذب الثمار أو نزعها من النبات بقوة أو إسقاطها بعنف فى العبوات.

جـ– استخدام عبوات جيدة خالية من الزوائد والأسطح الخشنة التى يمكن أن تخدش الثمار.

د– نقل الثمار برفق من عبوات الجمع إلى عبوات الحقل.

هـ– تعبئة الثمار السريعة التلف فى عبوات التسويق بعد قطفها مباشرة.

وتجدر الإشارة إلى أن الأضرار الميكانيكية تؤدى إلى زيادة الفقد الرطوبى من المنتج بدرجة كبيرة، فيمكن أن يزداد معدل الفقد الرطوبى بنسبة قد تصل إلى ٤٠٠٪ من خدش واحد فى ثمرة تفاح، كما يمكن أن تفقد درنة بطاطس واحدة متسلخة — من الرطوبة — ٣-٤ أضعاف ما يمكن أن تفقده درنة غير متسلخة. ويمكن أن تُقلل تلك الأضرار بتدريب العاملين على معاملة المنتج برفق. والحصاد فى طور اكتمال النمو المناسب وأن يكون المنتج جافًا قدر الإمكان، وتجنب زيادة تداول المنتج عما يلزم، وتزويد العبوات الحقلية الكبيرة بوسائد، مع تجنب زيادة تعبئة العبوات عما ينبغى.

٢- استبعاد الثمار التالفة:

فتستبعد الثمار المصابة بالأمراض أو الحشرات، وكذلك المصابة بالعيوب الفسيولوجية.

٣- ترك جزء من العنق أو الكأس بالثمرة:

يفضل فى بعض الخضروات ترك جزء من العنق بالثمرة؛ لأن ذلك يقيها التلف والجفاف، فضلاً على إعطاء الثمرة شكلاً مقبولاً، لكن العنق قد يُحدث تلفًا فى الثمار المجاورة، كما فى الطماطم.

تقسيم الخضر حسب طرق الحصاد المناسبة لها

تقسم الخضر حسب طرق الحصاد المناسبة لها كما يلى:

أولاً: الخضر الثمرية:

١- يكون جمع الخضر الثمرية — التى تحصد عند اكتمال نضجها لأجل التسويق الطازج — يدويًا، ولكن قد تستعمل آلات للمساعدة فى عملية الحصاد، مثل آلات التقاط ثمار القاوون، والسيور المتحركة ... إلخ.

٢- يكون جمع الخضر الثمرية — التى تحصد قبل اكتمال نضجها لأجل التسويق الطازج — يدويًا كذلك. ولكن تحصد الذرة السكرية، والفاصوليا الخضراء، والبسلة الخضراء آليًا فى حالتى الاستهلاك الطازج والتصنيع.

٣- يحصد خيار التخليل، وطماطم التصنيع آليًا.

ثانيًا: الخضر الورقية والساقية والزهرية:

تشتمل هذه المجموعة على عدد كبير من الخضروات، فهى تضم من الخضر الورقية: الخس، والكرنب، والكرنب الصينى، وكرنب بروكسل، والكرفس، والسبانخ، والسلق، والكيل، والهندباء، وغيرها، ومن الخضر الساقية: الأسبرجس وكرنب أبو ركبة، ومن الخضر الزهرية: الخرشوف، والقنبيط، والبروكولى.

تُحصد هذه الخضروات – بصفة أساسية – يدويًا، مع استعمال بعض الآلات للمساعدة فى عملية الحصاد، كما طورت آلات لحصاد الخس، والكرنب، وكرنب بروكسل، وغيرها، ولكنها لم تستعمل على نطاق تجارى واسع.

ثالثًا: الخضر الجذرية والدرنية والبصلية:

تضم هذه المجموعة – كذلك – عددًا كبيرًا من الخضروات، منها التى تؤكل جذورها (مثل: البنجر، والجزر، والفجل، واللفت، والبطاطا، والكاسافا)، والتى تؤكل درناتها (مثل: البطاطس، والطرطوفة، واليام)، والتى تؤكل أبصالها (مثل البصل والثوم)، والتى تؤكل كورماتها (مثل القلقاس).

وتحصد معظم الخضر الجذرية والدرنية – باستثناء البطاطا – آليًا على نطاق واسع، كذلك تحصد الخضر البصلية آليًا، ولكن ينتشر معها الحصاد اليدوى مع استعمال الآلات المساعدة فى عملية الحصاد. ويكون حصاد البطاطا والقلقاس يدويًا بعد تفكيك التربة آليًا.

حصاد الخضر يدويًا

قد يجرى الحصاد يدويًا، وهو الأمر الشائع، وقد يكون آليًا، وهى الطريقة الآخذة فى الشيوع، خاصة بالنسبة للخضروات التى تزرع لأغراض التصنيع.

تتوقف الطريقة المتبعة فى الحصاد على المحصول نفسه، وعلى الجزء النباتى الذى يزرع من أجله المحصول؛ فلكل محصول الطريقة المثلى الخاصة به، ولا يمكن التعميم.

ويتطلب الحصاد اليدوى عمالة كثيرة تشكل – عادة – نسبة كبيرة من تكلفة الإنتاج، خاصة فى الخضر التى تحصد على دفعات؛ ولهذا .. يعتمد منتجو الخضر فى الولايات المتحدة – فى المناطق التى تقل فيها الأيدى العاملة وتزداد تكاليف الحصاد فيها بدرجة كبيرة – على المستهلك فى حصاد ما يلزمه بنفسه (طريقة pick your own) فى عبوات يحضرها معه، أو يزوده بها المزارع. تصلح هذه الطريقة للحصاد بصفة خاصة فى بعض الخضروات؛ مثل: الذرة السكرية، والطماطم المرباة على دعائم، والفاصوليا المدادة، والفراولة. ويجب – عند اتباع هذه الطريقة – توقيت زراعة أجزاء من الحقل، بحيث ينضج المحصول على مدى فترة زمنية طويلة نسبيًّا، كما يجب أن يكون الحقل قريبًا من مركز تجمع سكانى (Ware & MaCollum ١٩٨٣).

حصاد الخضر آليًّا

الأسس التى يقوم عليها عمل آلات الحصاد

تختلف الأسس التى يقوم عليها عمل آلات الحصاد حسب المحصول المزروع. ومن أنواعها ما يلى:

١- آلات مصممة على أساس حصاد الحقل مرة واحدة once-over harvest:

تستخدم هذه الآلات فى حصاد الخضروات التى تزرع لأجل التعليب أو التخليل، فتستعمل فى حصاد البسلة، والفاصوليا الخضراء، والطماطم لأجل التعليب. والخيار لأجل التخليل. ويتوقف نوع ماكينة الحصاد على المحصول.

ففى البسلة تقطع العروش من قاعدتها، ثم تفصل القرون عن الأوراق والسيقان. وتسمى الآلة باسم "Viner"

وفى الفاصوليا تمر أصابع ممتدة من الآلة بداخل العروش؛ فتنزع القرون منها لتسقط على سير متحرك.

وفى الطماطم والخيار تقطع سيقان النباتات عند سطح التربة، ثم تنقل النباتات بما

تحمله من ثمار إلى جزء آخر من الآلة ، حيث تفصل الثمار عن العروش بالهز، ثم يُتخلص من الثمار غير الناضجة والزائدة فى النضج يدويًا.

وعند استخدام هذه الآلات فى الحصاد تزداد كثافة الزراعة من ١٠-٢٠ ألف نبات فى الفدان إلى ٨٠-١٠٠ ألف نبات، مع الاهتمام الشديد بمكافحة الحشائش بالمبيدات، والاهتمام الشديد - كذلك - بالتسميد والرى، كما تستعمل أصناف ذات نمو خضرى مندمج عادة.

٢- آلات مصممة على أساس الحصاد على عدة مرات multiple-over harvest:

تستخدم آلات من هذا النوع فى حصاد الخس. وتتركب الآلة من جزء للتحسس sensor ذى وحدة تحكم control unit، ووحدة تقطيع cutting assembly، وعدد من السيور المتحركة recovery belts. يقوم الـ sensor باختيار الرءوس الصالحة للتسويق حسب حجم الرأس ومقدار ضغط الهواء الذى يمكن أن تتحمله. فإذا كان حجم الرأس ومقدرته على تحمل ضغط الهواء ضمن المدى المناسب، فإن جهاز التحسس يقوم بإرسال إشارة إلى جهاز التحكم الذى ينشط جهاز التقطيع والسيور الناقلة؛ فيقوم جهاز بقطع الرأس من قاعدتها، ثم تنقلها السيور. وقد صمم جهاز للتحسس يستخدم أشعة جاما، ويرسل بالإشارة عندما تقل شدة الأشعة عن حد معين.

٣- آلات مصممة لتقليع المحصول من التربة digger-grader systems:

صممت هذه الآلات لحصاد المحاصيل التى تزرع لأجل أعضاء التخزين، كالدرنات، والأبصال، والجذور اللحمية؛ مثل: الجزر، والبنجر، والبطاطا. ولإجراء الحصاد يتم التخلص من النموات الخضرية أولاً، إما بالكيماويات كما فى البطاطس، وإما بالقطع كما فى باقى الخضروات. وتشتمل هذه الآلات على سلاح للحفر على شكل حرف V يقوم بتقطيع الجذور من التربة، ثم تنقل على سيور متحركة؛ حيث تفرز يدويًا (Edmond وآخرون ١٩٧٥).

التقدم فى الحصاد الآلى للخضروات

تشتمل قائمة الخضروات التى تحصد آليًا – على نطاق تجارى – على ما يلى:

١- الخضروات التى تزرع لأجل الاستهلاك الطازج:

الكرفس، والخس، والسبانخ، والكوسة، الذرة السكرية.

٢- الخضروات الجذرية والبصلية والدرنية (قد تستعمل لأجل الاستهلاك الطازج أو التصنيع):

البنجر، والجزر، والبصل، والثوم، والبطاطس، والفجل، والبطاطا، واللفت.

٣- الخضروات التى تزرع لأجل التصنيع:

الفاصوليا الخضراء، وفاصوليا الليما، والبسلة الخضراء، والفلفل، وخيار التخليل، والروبارب، والسبانخ، والذرة السكرية، والطماطم (Glancey وآخرون ٢٠٠٥).

ولقد شهد النصف الثانى من القرن العشرين تقدمًا كبيرًا فى الحصاد الآلى للخضروات؛ نتيجة للتعاون الوثيق بين العلماء المتخصصين فى مجالات إنتاج وتربية الخضر والهندسة الزراعية؛ لإنتاج أصناف ذات مواصفات خاصة تصلح للحصاد الآلى، وتصميم الآلات المناسبة لحصادها، مع المحافظة على صفات الجودة بها. وقد اتسع نطاق الحصاد الآلى للخضر على المستوى العالمى منذ حوالى عام ١٩٧٥.

ففى الولايات المتحدة تحصد كل مساحات الطماطم المعدة للتصنيع آليًا، وتقوم الآلة بحصاد نحو ٣-٥ أفدنة، أو نحو ٦٠-١٠٠ طنّ من الثمار يوميًّا.

وقد استعملت فى البداية أصناف مثل: VF 145-B-7879، ثم استخدمت الأصناف الصلبة ذات الثمار المكعبة الدائرية الصغيرة، مثل UC82 وما يماثلها. وتطلب الحصاد الآلى أن تكون الزراعة آلية مع زيادة كثافة النباتات من ٢٠ ألف نبات إلى ٥٠ ألف نبات بالفدان بالزراعة المتقاربة، ومع التسميد بالفوسفور تحت البذور مباشرة، والتحكم فى الرى بعناية، وعدم الرى قبل الحصاد بنحو ثلاثة أسابيع.

أما الحصاد الآلى لطماطم الاستهلاك الطازج، فإنه آخذ فى الازدياد كذلك بعد أن

أنتجت الأصناف المحدودة النمو التى تصلح لذلك. ويتم الحصاد ومعظم الثمار فى طور اكتمال التكوين الأخضر.

كذلك تحصد آليًا جميع المساحات المزروعة لأغراض التصنيع من كل من الذرة السكرية، والبسلة، والفاصوليا الخضراء. وتقوم الآلة بحصاد نحو ٩٠٪ من قرون الفاصوليا بسرعة نحو فدان فى الساعة. أما الفاصوليا الخضراء التى تزرع لأجل الاستهلاك الطازج، فمازال معظمها يحصد يدويًا.

كما أن البطاطس والخضر الجذرية – كالجزر، والبنجر – تحصد آليًا بصورة روتينية منذ عهد طويل. وفى حالة الجزر تقوم الآلة بتقليع النباتات من التربة، وقطع أوراقها بمعدل ٢–٣ أفدنة يوميًا، ويعمل عليها رجلان.

وتُحْصَدَ بعضُ حقول الخس آليًا بسرعة نحو فدان فى الساعة. وفى الزراعة لأجل الحصاد الآلى تزداد كثافة الزراعة من نحو ١٥ ألف إلى ١٠٠ ألف نبات للفدان، مع إجراء كل العمليات الزراعية بكفاءة حتى ينضج المحصول فى وقت متقارب. ويحصد القليل من حقول الكرفس آليًا.

كما استخدمت الآلات فى حصاد مهاميز الأسبرجس بقطعها من تحت سطح التربة فى أراضى البيت. وفى هذه الحالة يزرع الأسبرجس بالبذور مباشرة فى الحقل مع زيادة كثافة الزراعة من نحو ٨ آلاف إلى ٥٠ ألف نبات للفدان (Lorenz ١٩٦٩).

ولمزيد من التفاصيل عن الحصاد الآلى للخضروات يمكن الرجوع إلى كل من: Amer. Soc. Hort. Sci (١٩٦٩)، و Woodrof (١٩٧٥)، و Zahara & Johnson (١٩٧٩).

تأثير الحصاد الآلى على نوعية الخضروات المنتجة لأغراض التصنيع

لا تخلو عمليات الحصاد الآلى من تأثيرات سلبية على نوعية الخضر المنتجة؛ ولذا لا يشيع كثيرًا حصاد حقول الخضر المخصصة للاستهلاك الطازج آليًا؛ لأن المستهلك

يتخير أفضلها عند الشراء. أما الخضروات التى تزرع لأجل التصنيع فإنها تُحصد أليًا على نطاق واسع؛ لأن ما تحدثه فيها عملية الحصاد الآلى من أضرار ميكانيكية تختفى عند مرورها بعمليات التصنيع. ولكن قد يتبقى – بالرغم من ذلك – تأثيرات سلبية لتلك الأضرار على نوعية المنتجات المصنعة. وهو ما نتناوله بالشرح فى هذا الجزء بالنسبة لمحاصيل الخضر التالية:

١– الطماطم:

تتباين الأضرار التى تُحدثها عملية الحصاد الآلى لثمار الطماطم ما بين خدوش سطحية بجلد الثمرة، إلى قطع بالجد لا ينفذ إلى داخل الثمرة، إلى تفلقات تمتد إلى مساكن البذور. وتؤدى تلك التفلقات إلى فقد كمية كبيرة من العصير قد تصل إلى ٦٠٪ من وزن الثمار. كما أن هذه الثمار لا تصلح لإنتاج الطماطم المعلبة المقشرة peeled tomatoes، وهى التى يجب ألاّ تزيد فيها الأضرار الميكانيكية على مجرد الخدوش السطحية. ويزداد معدل حدوث تلك الأضرار مع زيادة سعة المقطورة التى تُجمع وتنقل فيها الثمار (تستعمل مقطورات تصل حولتها إلى ١٢ طنًا)، ومع التأخير فى الحصاد عن مرحلة اكتمال نضج غالبية الثمار، وعند الحصاد بعد الظهر مقارنة بالحصاد ليلاً أو فى الصباح الباكر.

٢– الخيار:

تؤدى عملية الحصاد الآلى إلى قطع نسبة كبيرة نسبيًا (قد تصل إلى ١٢٪) من الثمار، أو إلى إحداث خدوش بها. وبعكس الطماطم .. فإن نسبة الخدوش تزداد فى ثمار الخيار عند حصاده – آليًا – فى الصباح، مقارنة بحصاده بعد الظهيرة. كذلك تزداد الخدوش فى الثمار الصغيرة الحجم.

٣– الذرة السكرية:

إن مجرد حصاد الذرة السكرية آليًا يحافظ على نوعية المنتج؛ وذلك بسبب قصر الفترة التى تستغرقها عملية الحصاد الآلى مقارنة بالحصاد اليدوى، وعدم الحاجة إلى بقاء المنتج فى الحقل لفترة طويلة بعد الحصاد.

تزداد الأضرار التى تحدث للحبوب التى توجد بقاعدة الكيزان عند ترك ٣-٤ سم فقط من أعناقها، بالرغم من أن ذلك يعنى التخلص من عدد كبير من الأوراق المغلفة للكوز فى الحقل. وتؤدى زيادة طول العنق إلى ٦,٥ سم فأكثر إلى تجنب حدوث أية أضرار بالحبوب القاعدية.

يُفضل الحصاد ليلاً للمحافظة على نوعية المنتج التى تتدهور إن لم يُبرّد المحصول إلى الصفر المئوى سريعًا بعد الحصاد.

٤- الفاصوليا الخضراء:

يؤدى انتزاع القرون من النموات الخضرية – عند حصادها آليًا – إلى قطع بعضها وإحداث خدوش سطحية فى نسبة كبيرة منها. وتزداد نسبة هذه الأضرار كلما ازدادت سرعة آلة الحصاد، كما تتوقف النسبة على الصنف ومقدار القوة التى تلزم لفصل قرونه عن النبات، وكذلك على كثافة الشعيرات التى تنتشر على سطح القرون؛ وهى التى تُضارّ بشدة عند إجراء الحصاد الآلى؛ الأمر الذى يترتب عليه زيادة معدلات فقد الرطوبة من القرون وسرعة ذبولها وانكماشها.

٥- البسلة الخضراء:

قُدرت نسبة الأضرار التى تُحدثها عملية الحصاد الآلى فى بذور البسلة الخضراء بنحو ٢٥٪ من المحصول، ويتوقف ذلك على سرعة آلة الحصاد. وتزداد المشاكل التى تترتب على الأضرار الميكانيكية كلما تأخر وصول المنتج إلى مصانع الحفظ (عن Studer ١٩٨٣).

٦- الأسبرجس:

يؤدى الحصاد الآلى إلى حصاد مهاميز أقصر مما ينبغى، وإحداث أضرار بالمهاميز المتبقية تحت سطح التربة، وإلى اختلاط التربة بالمنتج.

٧- الكرنب وكرنب بروكسل:

يُحدث الحصاد الآلى أضرارًا بالأوراق، ولكنها لا تؤثر على نوعية المنتج المعدّ للتصنيع.

٨- القنبيط:

يضر الحصاد الآلى بالنباتات المتبقية فى الحقل (يكون الحصاد على دفعات)، لأنه يؤدى إلى كسر بعض الأوراق، الأمر الذى يؤدى إلى بطء نمو النباتات المتبقية، وصغر حجمها، واكتسابها لونًا أصفر بسبب تعرضها لأشعة الشمس.

٩- الكرفس:

يُحصد الكرفس آليًّا إما لأجل تسويق "قلوب" النباتات معبأة، وإما لأجل سدّ حاجة مصانع الشوربات، وفى كلتا الحالتين لا يتسبب تقطيع الأوراق الخارجية – عند إجراء عملية الحصاد – فى أية مشاكل تصنيعية أو تسويقية. وكلما ارتفع موضع قطع النباتات فوق سطح التربة أمكن التخلص من أكبر قدر ممكن من الأوراق غير المرغوب فيها فى الحقل ذاته، ولكن ذلك يكون مصاحبًا – أيضًا – بزيادة فى نسبة الفقد فى الأوراق المرغوب فيها.

١٠- السبانخ، والهندباء، والكيل، والكولارد:

من الأهمية بمكان التحكم فى موضع قطع النباتات فوق سطح التربة، بحيث يكون مرتفعًا إلى الحدّ الذى يؤدى لى التخلص من الأوراق السفلية الصفراء والملوثة بالتربة فى الحقل، ولكن لا يكون مرتفعًا إلى الدرجة التى تؤدى إلى فقد نسبة كبيرة من المحصول. ويفضل الحصاد فى الصباح عنه بعد الظهيرة.

١١- خس الرءوس ذات الأوراق السهلة التقصف Crisphead:

يعد نضج الرءوس (صلابتها) أهم مقياس للحكم على صلاحيتها للحصاد، ويتم ذلك باستعمال آلات تعتمد على مجسات تقدر كثافة الرءوس بأشعة جاما أو بأشعة إكس.

١٢- الجزر، وبنجر المائدة، واللفت، والفجل:

يتم حصادها آليًّا بعد قطع نمواتها الخضرية. وبالرغم من حدوث بعض الأضرار كالخدوش والقطوع، إلا أن ذلك يعد أمرًا مقبولاً.

١٣- البطاطا:

يُحدث الحصاد الآلى نسبة عالية من التسلخات والخدوش بالجذور، ولكن المعالجة الجيدة بعد الحصاد يمكن أن تقلل من تلك الأضرار.

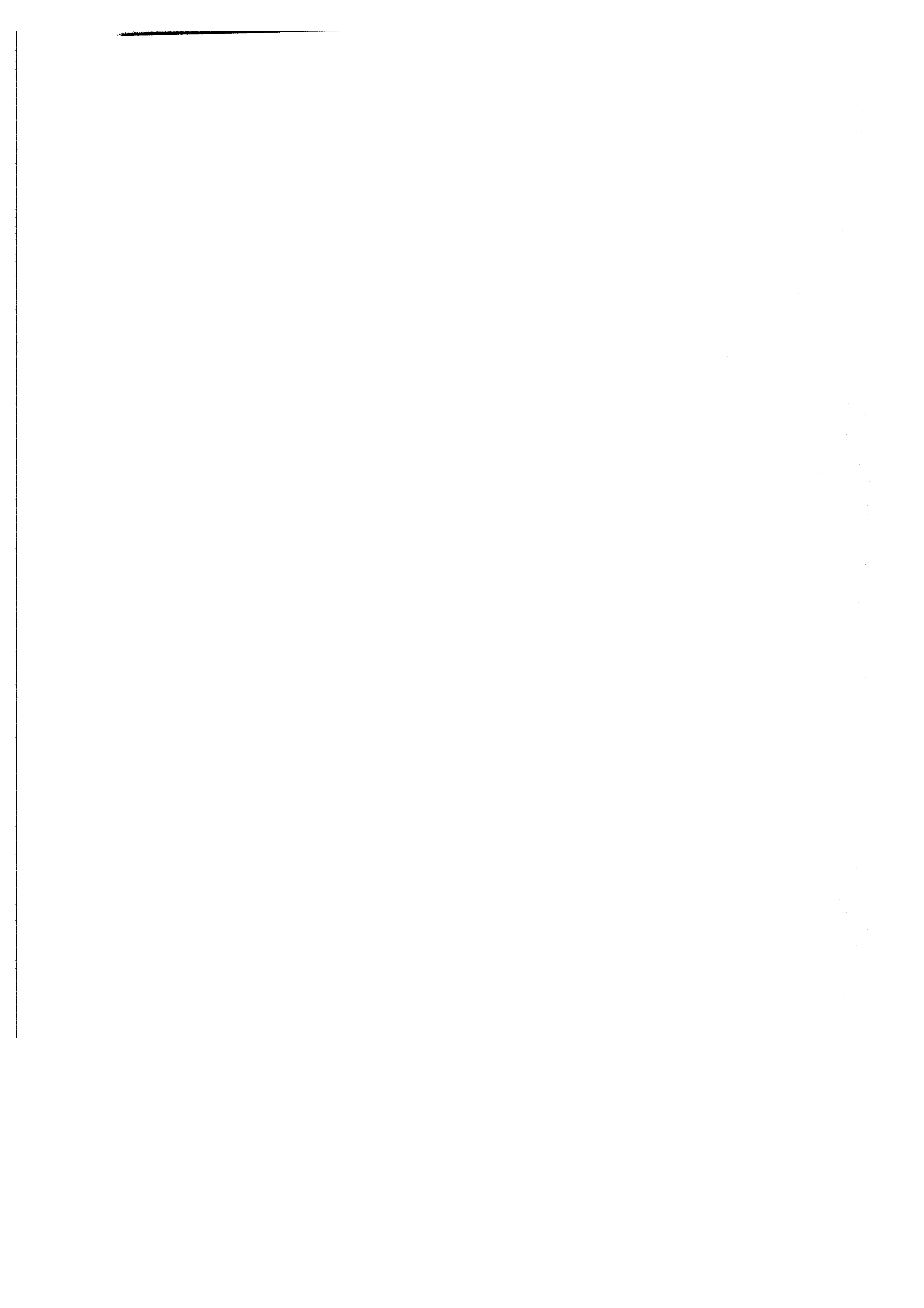
١٤- البصل والثوم:

يتم تفكيك التربة تحت الأبصال آليًا. ثم يستكمل الحصاد بعد ذلك آليًا أو يدويًا. وتكون بعض الأصناف أكثر من غيرها حساسية للإصابة بالأضرار الميكانيكية، التى تزداد كذلك عند زيادة سمك رقبة البصلة. ولا يكون من السهل تقليم النموات الجذرية والقمية بصورة مقبولة عند إجراء الحصاد آليًا كما فى حالة الحصاد اليدوى.

١٥- البطاطس:

يؤدى التخلص من النموات الخضرية بصورة مناسبة قبل الحصاد إلى تقليل الخدوش والتسلخات التى تتعرض لها الدرنات. وتحدث أقل الأضرار عندما يكون قتل النموات الخضرية سريعًا، وعند زيادة الفترة بين قتل النموات الخضرية والحصاد. ولكن قتل النموات الخضرية مبكرًا يؤدى إلى نقص المحصول، ونقص الكثافة النوعية للدرنات، وازدياد ظاهرة تلون أنسجة الخشب. ويزداد النقص فى الكثافة النوعية فى حالات القتل السريع للنموات الخضرية.

ومن الطبيعى أن تحدث أضرار ميكانيكية (قطوع، وتشققات، وجروح، وتسلخات) فى نحو ١٠٪ من محصول البطاطس عند الحصاد. ويؤدى الحرص فى عملية الحصاد إلى خفض نسبة تلك الأضرار إلى نحو ٥٪ أو أقل (عن Kasmire ١٩٨٣).



الفصل الثالث

صفات الجودة التغيرات والفسيولوجية التى تحدث بعد الحصاد

تتباين صفات الجودة باختلاف محاصيل الخضر والفاكهة، كما أن تلك الصفات يطرأ عليها كثيرًا من التغيرات بعد الحصاد. وجميع هذه التغيرات يمكن ملاحظتها أو الإحساس بها، وهى تحدث نتيجة لنشاط فسيولوجى بالمنتج. ونستعرض بالدراسة فى هذا الفصل – بصورة عامة – مختلف الصفات التى تؤثر فى جودة الخضر والفاكهة ونوعيات التغيرات التى تحدث فيها بعد الحصاد.

المذاق

إن المذاق flavor عبارة عن الطعم taste بالإضافة إلى الرائحة odor، ويتكون أساسًا من الحلاوة sweetness والحموضة sourness، والنكهة aroma، وهى التى يقابلها – على التوالى – السكريات، والأحماض، والمركبات المتطايرة. ومن بين المكونات الأخرى للمذاق: المرارة bitterness (مثل الـ sesquiterpene lactones فى الشيكوريا)، والملحية saltiness التى تعود إلى أملاح طبيعية متنوعة، والطعم القابض astringency الذى يسببه الفلافونات flavonoids، والقلوانيات alkaloids، والتانينات tannins، وعوامل أخرى. إن الإحساس بالحلاوة – التى هى أحد أهم مكونات الطعم فى الخضر والفاكهة – يتحور بالحامضية sourness أو مستويات الأحماض، وبمركبات النكهة. ويبين جدول (٣-١) الحدود الدنيا للمواد الصلبة الذائبة والحدود القصوى للحموضة المعايرة بثمار الفاكهة وثمار الخضر الحلوة الطعم لكى يكون طعمها مقبولاً.

ويتأثر المذاق – بصفة أساسية – بالتركيب الوراثى للمنتج، مع تأثيرات أقل للعوامل البيئية التى يتعرض لها المنتج قبل الحصاد، والمعاملات الزراعية التى خضع لها، ودرجة اكتمال التكوين عند الحصاد، وعمليات التداول التالية للحصاد.

إن الثمار التى تستمر فى النضج بعد الحصاد مثل التفاح والموز تعرف بأنها كلايمكتيرية climacteric. بينما تلك التى لا تنضج بعد الحصاد مثل الموالح والفراولة فإنها تعرف بأنها غير كلايمكتيرية non-climacteric. وبصورة عامة .. فإن جودة المذاق فى الثمار غير الكلايمكتيرية تنخفض بعد الحصاد. بينما تصل الثمار الكلايمكتيرية إلى أفضل مذاق لها بعد الحصاد. ولكنها يجب أن تحصد بعد بداية نضجها. وتكون نوعية الثمار بنوعيها — الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية — رديئًا إذا ما حُصدت قبل اكتمال تكوينها (Baldwin ٢٠٠٤).

جدول (٣-١): الحدود الدنيا لنسبة المواد الصلبة الذائبة والحدود القصوى للحموضة المعايرة titratable acidity بعض الثمار كى يكون طعمها جيدًا (عن Kader ١٩٩٦).

الفاكهة	الحد الأدنى للمواد الصلبة الذائبة (٪)	الحد الأقصى للحموضة المعايرة (٪)
التفاح	١٠,٥–١٢,٥ حسب الصنف	٠,٨
المشمش	١٠	—
البلوبرى	١٠	
الكريز	١٤–١٦ حسب الصنف	
العنب	١٤–١٧,٥ حسب الصنف، أو نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة لا تقل عن ٢٠	
الجريب فروت	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة لا تقل عن ٦	
الكيوى	١٤	—
اليوسفى	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة لا تقل عن ٨	
المانجو	١٢–١٤ حسب الصنف	
الكنتالوب	١٠	—
النكتارين	١٠	٠,٦
البرتقال	نسبة مواد صلبة ذائبة إلى الأحماض بقيمة لا تقل عن ٨	

تابع جدول (٣–١).

الفاكهة	الحد الأدنى للمواد الصلبة الذائبة (٪)	الحد الأقصى للحموضة المعايرة (٪)
الباباظ	١١,٥	—
الخوخ	١٠	٠,٦
الكمثرى	١٣	—
الكاكى	١٨	—
الأناناس	١٢	١,٠
البرقوق	١٢	٠,٨
الرمان	١٧	١,٤
الراسبرى	٨	٠,٨
الفراولة	٧	٠,٨
البطيخ	١٠	—

إن استقبال الإنسان لمذاق ما يأكله لأمر شديد التعقيد. إن الطعم هو القدرة على تمييز المركبات غير المتطايرة (بتركيزات حتى أجزاء فى المائة) بعديد من المستقبلات فى اللسان للسكريات أو الـ polyalchols، و hydronium ions، وأملاح الصوديوم، والجلوكوسيدات، والقالوانيات ... إلخ. ويقابل ذلك الأحساس بالحلاوة، والحموضة، والملوحة، والمرارة فى الأغذية. أما مركبات النكهة aroma فإنه يمكن القدرة على تمييزها وهى فى تركيز بالأجزاء فى البليون. وذلك بأعصاب تنتهى فى الأنف. ويقوم المخ بمعالجة تلك المعلومات ليعطى الأحساس المتكامل بالمذاق (Baldwin ٢٠٠٤).

النكهة

إن المركبات المتطايرة هى المسئولة عن النكهة المميزة للثمار. وهى تتواجد بكميات قليلة جدًا تقل ١٠٠ جزء فى المليون. وتقل كمية الكربون التى تدخل فى تمثيل تلك المركبات عن ١٪ من كمية ثانى أكسيد الكربون التى تنطلق من المنتج. وأهم المركبات المتطايرة التى تنتجها الثمار الكلايمكتيرية هى الإثيلين الذى يشكل ٥٠٪–٧٥٪ من

المحتوى الكربونى الكلى لجميع المركبات المتطايرة، هذا إلاّ أن الإثيلين ليس لـه رائحـة قوية ولا يُسهم فى الرائحة المميزة للثمار.

ومعظـم المركبـات المتطـايرة عبـارة عـن إسـترات esters، وكحـولات alcohols، وألدهيـدات aldehydes، وكاتيونـات ketones. ولقـد أمكـن تعريـف عـددًا كـبيرًا مـن المركبات المتطايرة فى الثمار، والرقم فى ازديـاد مسـتمر مـع التقـدم فـى طرق التحليـل. وعلى الرغم من ذلك فإن عددًا قليلاً من تلك المركبـات هـو الـذى يكـون لـه أهميـة فـى تحديد النكهة المميزة للثمار. وتتوقف الأهمية النسبية لتلك المركبات على تركيز كل منها – وهو الذى قد يكون بالجزء فى البليون – وكذلك على التفاعلات فيمـا بينهـا (Kader ١٩٩٩).

ونقدم فى جدول (٣-٢) قائمة بأسماء المركبات الهامة المسئولة عن النكهة المميزة فى عدد من محاصيل الخضر والفاكهة. وكذا السكريات الرئيسية والأحماض الرئيسية التـى تحتويها.

جدول (٣-٢): المركبات الهامة المسئولة عن النكهة المميزة فى عدد من محاصيل الخضـر والفاكهة، وكذا السكريات الرئيسية والأحماض العضوية الرئيسية التى تحتويها.

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
التفاح	sucrose	malic	β-damascenone
	glucose	citric	butyl hexanoate
	fructose		isoamyl hexanoate
			hexyl hexanoate
			ethyl butanoate
			propyl butanoate
			hexyl butanoate
			butylacetate
			2-ethyl-1-butyl acetate
			ethyl acetate

تابع جدول (٣–٢).

المركبات الهامة المسئولة عن النكهة	الأحماض الرئيسية	السكريات الرئيسية	المحصول
butanol			
benzaldehyde	malic	sucrose	الخوخ
benzyl alcohol	citric	glucose	
nonanol		fructose	
linalool		sorbitol	
ethyl hexanoate			
3-methylbutanoate			
α-terpineol			
γ-hexalactone			
δ-decalactone			
γ-undecalactone			
δ-undecalactone			
γ-dodecalactone			
δ-dodecalactone			
α-pyrone			
6-penty-α-pyrone			
hexanal	citric	sucrose	الفراولة
cis-3-hexanal		glucose	
trans-2-hexanal		fructose	
furaneol			
mesifuran			
ethyl hexanoate			
ethyl butanoate			
methyl butanoate			
ethyl-2-methyl propanoate			
H-(4-hydroxyphenyl-butan-2-one)	citric	sucrose	الراسبرى
(raspberry ketone)		glucose	

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
	fructose		α-ionone
			β-ionone
			geraniollinalool
			benzyl alcohol
			ethyl hexanoate
			ethyl butanoate
			methyl butanoate
			γ-decalactone
			2-heptanone
			cis-3-hexanal
			β-damascenone
العنب الكونكورد	sucrose	tartaric	methyl anthranilate
	fructose	malic	0-aminoacetophenone
			furaneol
			methyl furaneol
			β-damascenone
العنب المسكادين			β-phenylethanol
			butyl alcohol
			hexyl alcohol
			hexanal
			trans-2-hexenal
			isoamyl alcohol
			acetaldehyde
			isobutyraldehyde
			ethyl acetate
			ethyl propionate
			butyl acetate

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
			propyl acetate
			2-methylbutanol
العنب المسكات			linalool
			geraniol
			methoxyisobutylpyrazine
الموز	sucrose	malic	decan-1-ol
	glucose	citric	2-phenylethanol
	fructose	oxalic	3-oxy-pentanoic acid
			3-methylbutanoic acid
			3-methylbutyl acetate
			butanoate
			3-methylbutanoate
			eugenol
			5-methoxyeugenol
			eugenol-methylether
			elemicin
البرتقال	sucrose	citric	geranial
	glucose		neral acetaldehyde
	fructose		decanal
			octanal
			nonanal
			ethyl acetate
			ethyl propionate
			ethyl butanoate
			methyl butanoate
			ethyl-2-methyl butanoate
			ethyl-3-hydroxy hexanoate

تابع جدول (٣–٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
			linalool
			α-terpineol
			limonene
			myrcene
			α-pinene
			valencene
اليوسفى	sucrose	citric	acetaldehyde
	glucose		decanal
	fructose		octanal
			dimethyl anthranilate
			thymol
			α-sinensal
			γ-terpinene
			β-pinene
الجريب فروت	sucrose	citric	acetaldehyde
	glucose		decanal
	fructose		ethyl acetate
			methyl butanoate
			ethyl butanoate
			1-*p*-menthene-8-thiol
			nootkatone
			limonene
			naringin
المانجو	sucrose	citric	ethyl butanoate
	glucose	malic	ethyl-2-butanoate
	fructose		hexanal
			cis-3-hexanal
			trans-2-hexanal

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
			γ-octalactone
			γ-dodecalactone
			furaneol
			α-pinene
			β-pinene
			3-carene
			myrcene
			limonene
			p-cymene
			terpinolene
			α-copaene
			caryophyllene
الكنتالوب	sucrose	malic	ethylbutyrate
وشهد العسل	fructose	citric	ethyl-2-methyl butyrate
والبطيخ		watermelon-	ethyl butyrate
		malic only	ethyl hexanoate
			hexyl acetate
			3-methylbutyl acetate
			benzyl acetate
			cis-6-nonenyl acetate
			trnas-6-nonenol
			cis, cis-3,6-nonadienol
			cis-6-nonenal
			4-oxononanal
			2-hydroxy-5-pentyltetra-hydrofuran
			cis-non-6-enyl acetate

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
			methyl acetate
			ethyl acetate
			isopropyl acetate
			ethyl propanoate
			ethyl isobutanoate
			propyl acetate
			butyl acetate
			methyl-2-methylbutanoate
			ethyl butanoate
			2-methylpropanoate
			2-methylbutyl acetate
			2-methylpropyl acetate
			methyl (methylthio) acetate
			ethyl (methylthio) acetate
			ethyl (methylthio) propanoate
الطماطم	sucrose	citric	hexanal
	fructose	malic	*trans*-2-hexenal
			cis-3-hexenal
			cis-3-hexenol
			β-ionone
			β -damascenone
			1-penten-3-one
			3-methylbutanal
			3-methylbutanol
			2-isobutylthiazole-1-nitro-phenyl-ethane
			trans-2-heptenal

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	السكريات الرئيسية	الأحماض الرئيسية	المركبات الهامة المسئولة عن النكهة
			phenylacetaldehyde
			6-methyl-5-hepten-2-one
			methyl salicylate
			geranylacetone

الصلابة والقوام

إن خاصية القوام texture ليست صفة واحدة محددة، فهى مصطلح يجمع ما بين الخصائص التركيبية والميكانيكية للمنتج الغذائي واستقبالها الحسّي في اليد أو الفم.

ومن بين المصطلحات الكثيرة جدًّا المستعملة في وصف القوام المحسوس في الخضر والفاكهة ما يلي:

متماسك	firm	صلب	hard
هش أو قصيم	crisp	ناعم	soft
دقيقي	mealy	لينّ	limp
ذوّاب	melting	قاس أو قوى	tough
صوفي	wooly	رملي	gritty
عصيري	juicy	جاف	dry

يحدث أثناء اكتمال بعض أجزاء منتجات الخضر، وخاصة السيقان وأعناق الأوراق أن تصبح الخلايا ملجننة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قوة وقسوة المنتج، مثلما يحدث في الأسبرجس والبروكولي والروتاباجا.

وتفيد معاملات الغمر في محاليل الكالسيوم بعد الحصاد في زيادة تماسك عديد من المنتجات.

وتفقد الثمار صلابتها أثناء النضج، ويحدث ذلك بفعل إنزيمات تحلل الجدر الخلوية وتؤدى إلى طراوة لب الثمرة. تنقسم تلك الإنزيمات إلى مجموعتين، كما يلى (عن Sivastava ٢٠٠٢):

١– مجموعة تعطل شبكة الهيميسيليلوز والسيليلوز، وتتضمن تحت المجموعات الإنزيمية التالية:

Expansins

Xylogucan endotransglycosylases

End-1,4-β -glucanases (EGases or cellulases)

α-and β -galactosidases

٢– مجموعة تعطل شبكة البكتينات، وتتضمن تحت المجموعات الإنزيمية التالية:

Polygalacturonases

Pectin methylesterases

إن تواجد خيوط قوية فى النسيج الوعائى يمكن أن يزيد من متانة النسيج، ولكنه يؤدى إلى جعل المنتج ذات قوام ليفى غير مرغوب فيه – فمثلاً .. يكون مرد قوة وصلابة مهاميز الأسبرجس أساسًا إلى محتواها من الألياف وتلجننها. ونادرًا ما تكون الخيوط مرغوبًا فيها كما فى الكوسة الاسباجيتى. وفى معظم الثمار التجارية – باستثناء الأناناس – لا يشكل تليف اللحم مشكلة كبيرة، إلا أن بعضها – مثل الخوخ والكنتالوب – يمكن أن يشكل التليف فيها مشكلة. وعمومًا .. يزداد الإحساس بظاهرة الخيوط فى الثمار التامة النضج بسبب التغاير بين القوام الناعم الذواب للخلايا البرانشيمية وألياف الأنسجة الوعائية. كذلك فإن القوام الرملى فى الكمثرى والجوافة يصبح ملحوظًا عندما يكون النسيج المحيط ناعمًا. وبينما يكون مرد التليف إلى الأنسجة الوعائية، فإن القوام الرملى يعود إلى الخلايا الحجرية الاسكليروشية (Abbott & Harker ٢٠٠٤).

الصبغات

تحتوى الخضر والفاكهة على عديد من الصبغات التى تكسبها لونها المميز والجذاب، بالإضافة إلى أن بعضها (مثل البيتا كاروتين) تُعد من الفيتامينات، وأن جميعها تُعد من مضادات الأكسدة ذات الأهمية الفائقة لصحة الإنسان، نظرًا لكونها من مضادات السرطانات. ويبين جدول (٣-٣) أنواع صبغات الأنثوسيانين التى أمكن التعرف عليها فى بعض الخضر، بينما يبين جدول (٣-٤) المحتوى النسبى لكل من البيتا كاروتين والليكوبين والكلوروفيل فى عدد من الخضروات (عن Shewfelt ٢٠٠٣).

جدول (٣-٣): أنواع الصبغات الأنثوسيانينية التى أمكن تعريفها فى بعض الخضر.

الخضر	الصبغات
الأسبرجس	cyanidin 3-glucoside; cyaniding 3,5-diglucoside; cyanidin 3-rutinoside; cyanidin 3-glucosylrutinoside; peonidin 3-rutinoside; peonidin 3-glucosylrutinoside
الكرنب الأحمر	cyanidin 3,5-diglucoside; cyanidin 3-ferulyl-glucoside-5-glucoside; cyanidin 3-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-p-coumaryl-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-ferulyl-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-sinapyl-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-*p*-coumaryl-triglucoside-5-glucoside; cyaniding 3-p-coumaryl-triglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-ferulyl-triglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-p-coumaryl-sinapyl-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-ferulyl-sinapyl-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-disinapyl-diglucoside-5-glucoside
الباذنجان	delphindidin 3- diglucoside; delphinidin 3,5- diglucoside; delphinidin 3-rutinoside-5- diglucoside; delphindin 3-*p*-coumaryl-rhamnoglucoside; delphinidin 3-*p*-coumaryl-diglucoside
الفجل	cyanidin 3-diglucoside-5-glucoside; cyanidin 3-sophoroside-5-glucoside; pelargonidin 3-diglucoside-5-glucoside; pelargonidin 3-sophoroside-5-glucoside

تابع جدول (٣-٣).

الخضر	الصبغات
الروبارب	Cyanidin 3-glucoside; cyanidin 3-rutinoside
اللفت الأحمر	cyanidin 3-glucoside; cyanidin 3,5-diglucoside; cyanidin 3-diglucoside-5-glucoside
اللفت القرمزى	pelargonidin 3-diglucoside-5-glucoside

جدول (٣-٤): المحتوى النسبى لكل من البيتاكاروتين **β-carotene**، والليكوبين **lycopene** والكلوروفيل **chlorophyll** فى ثمار بعض الخضر.

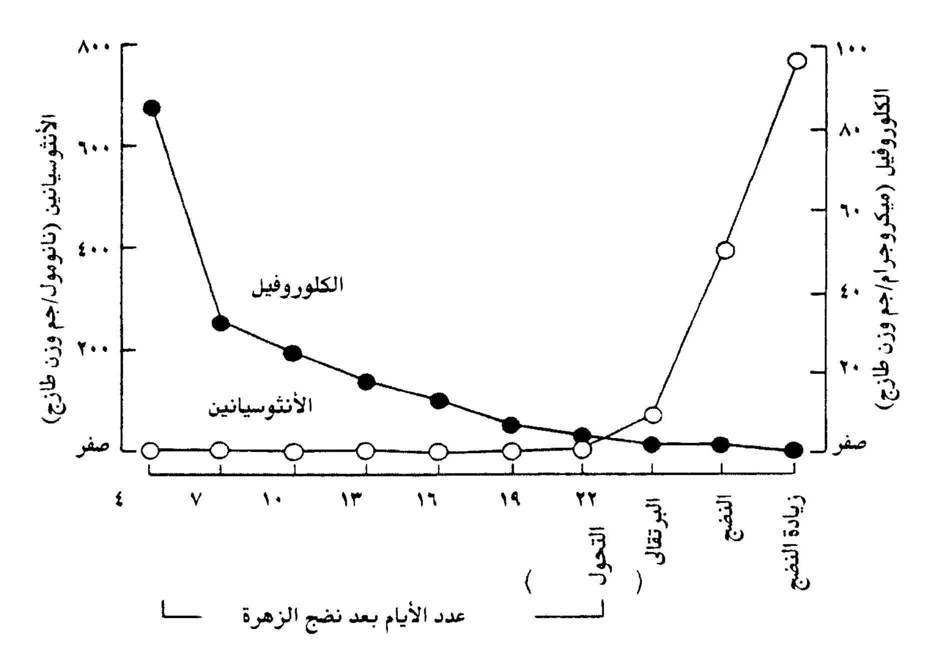
الخضر	البيتا كاروتين	الليكوبين	الكلوروفيل
الأسبرجس الأخضر	+[a]	--	+++++
الفاصوليا الخضراء	+	--	+++
فاصوليا الليما	+	--	+
البروكولى	++	--	++++
الجزر	+++	--	--
الخس الورقى الأخضر	++	--	+++++
الخس الكابوتشا (الآيس برج)	+	--	+++
الخس الرومين	+	--	+++
الفلفل الأخضر	+++	--	++++
الفلفل الأحمر	+++++	--	--
البطاطا (اللب)	++++	--	--
السبانخ	+++	--	+++++
الطماطم الحمراء الناضجة	+++	+++++	--

[a] - < 1 μg g^{-1} FW; + = 1-10 μg g^{-1} FW; ++ = 10-50 μg g^{-1} FW; +++ = 50-100 μg g^{-1} FW; ++++ = 100-200 μg g^{-1} FW; +++++ = > 200 μg g^{-1} FW.

التغيرات المصاحبة لنضج الثمار

إن من أهم التغيرات المصاحبة للنضج فى الثمار (سواء أكانت ثمار خضر أم فاكهة) ما يلى:

١ – التغيرات اللونية. والتي تبدأ بتحلل الكلوروفيل (فيما عدا في ثمار قليلة مثل الأفوكادو والكيوى وصنف التفاح Granny Smith). بسبب تغيرات الـ pH ونظم الأكسدة وإنزيمات الـ chlorophyllases. وتنتهي التغيرات اللونية بتكوين مختلف الصبغات المميزة للثمار، وهي التي تكون غالبًا صبغات كاروتينية خاصة بالألوان الصفراء والبرتقالية والحمراء (والأخيرة يكون مردها إلى صبغة الليكوبين). وأخرى أنثوسيانينية (وهي فينولات جلوكوسيدية قابلة للذوبان في الماء) خاصة بالألوان الحمراء والقرمزية (شكل ٣-١).



شكل (٣-١): التغيرات في صبغتي الكلوروفيل (●) والأنثوسيانين (O) في ثمار الفراولة أثناء تكوينها ونضجها (عن Srivastava ٢٠٠٢).

ويستعرض Jones (٢٠٠٧) تأثير الظروف التي تتعرض لها الخضر والفاكهة الطازجة بعد الحصاد على محتواها من كل من الأنثوسيانين، والليكوبين، والجلوكوسينولات،

ومدى تيسر تلك المركبات. وجميعها من المركبات الكيميائية النباتية ذات الأهمية الكبيرة بالنسبة لصحة الإنسان.

٢- التغيرات فى المواد الكربوهيدراتية:

إن من أهم التغيرات المصاحبة للنضج تحلل المركبات الكربوهيدراتية البوليمرية – وخاصة النشا – إلى سكريات، الأمر الذى يؤثر فى كل من طعم المنتج وقوامه.

كذلك فإن تحلل المواد البكتينية والنصف سيليلوز يضعف الجدر الخلوية والقوى اللاصقة التى تلحم الخلايا معًا. يؤدى ذلك فى نهاية الأمر إلى جعل الأنسجة أكثر استساغة عند أكلها، ولكن استمرار التغيرات يؤدى إلى تحلل التراكيب النباتية. ويعد البروتوبكتين protopectin هو الصورة الأساسية غير القابلة للذوبان للمواد البكتينية. وهى بوليمر كبير يرتبط بسلاسل بوليمرية عبر روابط من عنصر الكالسيوم، كما يلتحم بسكريات أخرى ومشتقات سكرية ليكون بوليمر كبير للغاية. يتحلل البروتوبكتين تدريجيًا أثناء نضج الثمار إلى جزيئات أصغر فى وزنها الجزيئى تكون قابلة للذوبان فى الماء، وتكون العلاقة طردية مباشرة بين معدل تحلل البروتوبكتين ومعدل طراوة الثمار (Wills وآخرون ١٩٩٨).

ويبين جدول (٣-٥): تأثيرات بعض معاملات بعد الحصاد على محتوى بعض الخضر من كل من الجلوكوز والفراكتوز والسكروز (عن Maness & Perkins-Veazie ٢٠٠٣).

٣- الأحماض العضوية:

ينخفض تركيز الأحماض العضوية – عادة – أثناء النضج إما من خلال استهلاكها فى التنفس، وإما بتحولها إلى سكريات. ويمكن اعتبار تلك الأحماض مخزونًا للطاقة فى الثمار يمكن أن تستنفد جزئيًا أثناء نضجها.

٤- المركبات النيتروجينية:

تعد البروتينات والأحماض الأمينية من المكونات الثانوية بالثمار، والتى لا يكون لها

جدول (٣-٥): تأثيرات بعض معاملات بعد الحصاد على محتوى بعض الخضر من كل من الجلوكوز والفراكتوز والسكروز.

معاملة بعد الحصاد	المحصول	الظروف	التأثير على كل من		
			الجلوكوز	الفراكتوز	السكروز
الإشعاع	البطاطس	٠.٠٥–٣ كيلوجراى	--	--	يزداد ١٠ أضعاف مؤقتًا
	البطاطا	٠.٠٥–٢ كيلوجراى	--	--	يزداد ٢–٤ ضعف مؤقتًا
	البصل	٠.٠٥–٠.٠٥ كيلوجراى	لا يذكر	لا يذكر	لا يذكر
	الفلفل الحلو	٠.٣ كيلوجراى ^{60}Co	لا يتأثر	لا يتأثر	لا يتأثر
	الخيار	٠.٣ كيلوجراى ^{60}Co	لا يتأثر	لا يتأثر	لا يتأثر
	الجزر	٢ كيلوجراى ^{60}Co	—	—	ينخفض ٣٠٪
فترة التخزين	الأسبرجس	٧٢ ساعة على ١٦°م	ينخفض ٥٠٪	ينخفض ٢٧٪	ينخفض ٢٧٪
	البصل	شهرين على ١٠°م ثم ثلاثة شهور على ٤°م	يقل قليلاً	يتضاعف	يزداد قليلاً
	الفلفل الحلو	٢١ يومًا على ٧°م	ينخفض ٣٥–٥٠٪	ينخفض ٣٥–٥٠٪	لا يتأثر
	الذرة السكرية	٥ أيام على ٦°م	ينخفض ٩٪–٣٠٪	ينخفض ٩٪–٣٠٪	ينخفض ٩٪–٣٠٪
	الخيار	٢١ يومًا على ٧°م	لا يتأثر	لا يتأثر	لا يتأثر
	قرع الشتاء	٣ شهور	يتضاعف	—	يتضاعف
حرارة صفر–١٠°م	البطاطس	٦ شهور على ٤°م	يزداد	يزاداد	يزداد
	البصل	٢٠ أسبوع على صفر°م	ينخفض ٩٪–٣٨٪	يزداد ١٢٥٪	ينخفض ٩٪–٣٨٪
	البطيخ	١٤ يومًا على صفر°م	ينخفض ٢٠٪	ينخفض ٢٠٪	ينخفض ٢٠٪
	الطماطم	١٥ يومًا على ٥°م	يزداد ٦٪–١٠٠٪	يزداد ٦٪–١٠٠	يزداد ٦٪–١٠٠

تابع جدول (٣-٥).

معاملة بعد الحصاد	المحصول	الظروف	التأثير على كل من		
			الجلوكوز	الفراكتوز	السكروز
	اللفت	٤ أسابيع على صفر°م	يقل	يقل	يزداد
	البطاطا	٣ أسابيع على ٧°م	يزداد	يزداد	يزداد
حرارة ٢٠-٣٠°م	البطيخ	١٤ يومًا على ٢٣°م	ينخفض ٢٠٪	ينخفض ٢٠٪	ينخفض ٢٠٪
	البصل	٢٠ أسبوع على ٣٠°م	ينخفض ٢٥٪	ينخفض ٢٥٪	يزداد ٣٨٪
٥٪ O_2 + ١٠٪ CO_2	البامية	١٢ يومًا على ١١°م	—	يتضاعف	ينخفض ٥٠٪
	الأسبرجس	٤ أسابيع على ٢°م	ينخفض	ينخفض	ينخفض
٢,٥٪ O_2 + ٥٪ CO_2	الكرنب	٦ شهور	لا يتغير	لا يتغير	يزداد ٢٧٪
١٪ O_2 + صفر ٪ CO_2	الكرنب الصينى	٥ شهور	ينخفض	ينخفض	—
التجهيز للمستهلك	البصل الحلو	قطع صغير و٢°م	ينخفض	ينخفض	يزداد
	الجزر	أجزاء صغيرة و ٩ أيام على ٢°م	—	—	ينخفض ٣٠٪

علاقة – غالبًا – بصفاتها الأكلية. ويحدث أثناء نضج الثمار نقصًا في تركيز الأحماض الأمينية الحرة يقابله – غالبًا – زيادة في تمثيل البروتينات. أما أثناء الشيخوخة فإن تركيز الأحماض الأمينية الحرة يزداد ثانية، الأمر الذي يعكس حدوث تحلل للإنزيمات ونقص في النشاط الأيضي.

٥- النكهة:

ترجع النكهة المميزة للثمار إلى تمثيل مركبات عضوية قابلة للتطاير أثناء نضجها. ولا تزيد كمية الكربون المستهلكة في عملية تمثيل المركبات المتطايرة عن ١٪ من تلك المستنفذة في ثاني أكسيد الكربون المنطلق من عملية التنفس. ويعد الإثيلين أهم المركبات المتطايرة المنتجة، حيث يشكل (الكربون الموجود فيه) نحو ٥٠٪-٧٥٪ من إجمالي الكربون الموجود في كل المركبات المتطايرة. هذا مع العلم بأن الإثيلين لا يُسهم في إضفاء النكهة المميزة لأي ثمرة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

٦- حامض الأسكوربيك:

تعد مرحلة النضج التي تصل إليها الثمار عند قطعها من أهم العوامل التي تؤثر في محتواها من حامض الأسكوربيك كما يلي:

أ- يزداد محتوى ثمار الفلفل الحمراء من حامض الأسكوربيك الكلي بمقدار ٣٠٪ عن محتوى الثمار الخضراء.

ب- يكون محتوى حامض الأسكوربيك في ثمار الطماطم التي تقطف في مرحلة اكتمال التكوين وهي خضراء اللون وتترك لتنضج على ٢٠°م أقل مما في الثمار التي تقطف وهي حمراء.

كذلك تحتوي ثمار الطماطم التي في مرحلة التحول على ٦٩٪ من حامض الأسكوربيك الذي تحتويه الثمار التي يكتمل نضجها على النبات.

جـ- يزداد محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك أثناء نضجها على النبات في كل من المشمش والخوخ والباباظ، ولكنه ينخفض في التفاح والمانجو والكمثرى (Lee & Kader ٢٠٠٠).

هذا .. ولطريقة الحصاد وما يمكن أن تسببه من جروح وخدوش وأضرار بالمنتجات الطازجة تأثير كبير على محتواها من حامض الأسكوربيك، حيث يقل المحتوى بزيادة تلك الأضرار.

مقارنة لخصائص بعد الحصاد بين الخضر الثمرية غير المكتملة التكوين والخضر المكتملة التكوين

توجد فروقات أساسية فى خصائص بعد الحصاد بين الخضر الثمرية التى تقطف وهى غير مكتملة التكوين (مثل الفاصوليا الخضراء والخيار والباذنجان) وتلك التى تقطف وهى مكتملة التكوين (مثل الكنتالوب والطماطم والفراولة)، كما يلى:

أولاً: الخضر الثمرية التى تقطف وهى غير مكتملة التكوين:

من أهم خصائص هذه الخضر ما يلى:

١- هى من خضروات الجو الدافئ باستثناء البسلة والفول الرومى.

٢- تكون حساسة للبرودة باستثناء البسلة والفول الرومى والذرة السكرية.

٣- يكون معدل تنفسها عال.

٤- لا تكون كلايمكتيرية

٥- تكون التغيرات المورفولوجية فيها بعد الحصاد ضارة.

٦- يكون فقد الكلوروفيل فيها بعد الحصاد ضارًا.

ثانيًا: الخضر الثمرية التى تقطف وهى مكتملة التكوين:

من أهم خصائص هذه الخضر ما يلى:

١- جميعها من خضروات الجو الدافئ.

٢- جميعها حساسة للبرودة.

٣- جميعها ذات معدل تنفس عال.

٤- يكون بعضها كلايمكتيرى.

٥- قد تكون التغيرات المورفولوجية التى تحدث بها بعد الحصاد مرغوبة.

٦- قد يكون فقد الكلوروفيل وتمثيل الصبغات فيها أمرًا مرغوبًا.

الشدّ التأكسدي

يحدث الشد التأكسدى oxidative stress حينما يزيد توليد المركبات النشطة فى إعطاء الأكسجين generation active oxygen species (اختصارًا: AOS) عن قدرة النبات على التعامل معها. وتعد الـ AOS صورًا مختزلة من الأكسجين O_2، ومن بين المركبات التى تستهدفها: الدهون، والبروتينات، والمواد الكربوهيدراتية، والأحماض النووية. أما المواقع الرئيسية لإنتاج الـ AOS فهى البلاستيدات الخضراء، والميتوكوندريات، والأنوية، والجليوكسى سومات glyoxysomes، والبيروكسى أيزومات peroxyisomes على الرغم من ضعف أهمية البلاستيدات الخضراء كمصدر للـ AOS فى الثمار الناضجة وفى المنتجات التى تُعرض للظلام.

ومن المعروف أن الظروف البيئية القاسية مثل الانحرافات الحادة فى درجة الحرارة، والملوحة، والجفاف، والتعرض للأوزون وللأشعة فق البنفسجية تستحث إنتاج الـ AOS؛ مما يقود إلى حالة من شدّ الأكسدة. ومن الأعراض المميزة لهذا الشدّ فى النباتات تثبيط تطور البلاستيدات الخضراء، وظهور الأضرار الفسيولوجية الشائعة بعد الحصاد، مثل الانسفاع (أو الاحتراق) السطحى، والتلون البنى للأنسجة الداخلية، وفقدان الصبغات لألوانها، وإتلاف وتعطيل عمل الأغشية الخلوية، ووقف نشاط عدة أنواع من البروتينات (مثل الإنزيمات) بسبب ما يحدث لها من أضرار وما يلى ذلك من تحلل بفعل إنزيمات الـ proteases، بالإضافة إلى الأضرار والطفرات التى يمكن أن تحدث بالأحماض النووية.

كذلك فإن الـ AOS تلعب دورًا فى تنظيم عملية الشيخوخة سواء أحدثت بصورة طبيعية، أم استحثت. ولعل من أهم السمات المميزة للشيخوخة فى الأنسجة النباتية زيادة أكسدة الدهون، وهى العملية التى يعتقد بأنها تلعب دورًا فى تمثيل الإثيلين، وهو الهرمون الذى يلعب دورًا فى تنظيم عملية الشيخوخة.

تستطيع النباتات التعامل مع الشدّ التأكسدى من خلال استراتيجيتين رئيسيتين،

هما: تجنب الشدّ، وتحمله. هذا تحت ظروف الحقل. أما بعد الحصاد فلا مجال للحديث عن تجنب الشدّ إلا إذا تدخل الإنسان ونقل المنتجات من الظروف التى يمكن أن تحفز زيادة إنتاج الـ AOS. ولكن – وكما هو الحال فى النباتات النامية – فإن المنتجات البستانية بعد الحصاد يمكنها تحمل الـ AOS عن طريق مضادات الأكسدة القابلة للذوبان فى الماء وفى الدهون، وتنظيم إنتاج الـ AOS، وبنية الأغشية الخلوية (Hodges وآخرون ٢٠٠٤).

العوامل المتحكمة فى الشدّ التأكسدى

تُسهم عديد من العوامل مثل ظروف الإنتاج (درجة اكتمال التكوين على سبيل المثال)، وطرق الحصاد، ومدة التخزين، وحرارة التخزين، ومكونات هواء المخزن، وإجراءات التداول، والظروف التى تزيد من الفقد الرطوبى، والشيخوخة، ونضج المنتج، والتركيب الوراثى .. تُسهم جميعها فى حث الشدّ التأكسدى لمنتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد (جدول ٣-٦)، كما يلى:

١- درجة اكتمال التكوين عند الحصاد harvest maturity:

نجد – على سبيل المثال – أن العيوب الفسيولوجية ذات العلاقة بالشدّ التأكسدى مثل انسفاع أو احتراق الثمار سطحيًّا fruit scald ترتبط بدرجة اكتمال تكوينها عند الحصاد.

٢- درجة حرارة التخزين:

تؤدى المعاملة الحرارية لبعض المنتجات البستانية قبل تخزينها إلى الحد من تعرضها للشدّ التأكسدى. ومن المعروف أن تعريض المنتجات البستانية الحساسة لأضرار البرودة للحرارة المنخفضة يضر بأغشيتها الخلوية وزيادة تعرضها للـ AOS، وتكون أكسدة الدهون فى الأغشية الخلوية – عادة – أولى مظاهر أضرار البرودة. ولكن المعاملة الحرارية التى أشرنا إليها تحد من الإضرار بالأغشية الخلوية.

جدول (٣-٦): ملخص لدلائل الشدّ التأكسدى المعروفة فى حاصلات الخضر والفاكهة الطازجة (عن Hodges وآخرين ٢٠٠٤).

العوامل المحدثة للشدّ	الأعراض المشاهدة	محتوى مضادات الأكسدة	الإنزيمات المضادة للأكسدة	نواتج الأكسدة	عناصر الأكسجين النشطة	تدهور الأغشية الخلوية
اكتمال التكوين	احتراق واسمرار سطحى – تلون بنى بالقلب واللب – تنقير	<LSA, < WSA, <anthocyanins, <phenols	<SOD, <CAT, >GR	>Lipid hydroperoxides		
فترة التخزين	تدهور فى النوعية	<tocopherol	±SOD, ±CAT	>Lipid hydroperoxides	>H_2O_2 > $O_2^{\cdot}$, > OH	يزداد
حرارة التخزين أعلى من المثلى	اصفرار	±ascorbate, <carotenoids,	>SOD, ±CAT, >POD	>Lipid hydroperoxides	--	
حرارة التخزين أقل من المثلى	تنقير – نضج غير طبيعى – تلون بنى باللب – زيادة السكر	< ascorbate, <GSH <carotenoids	>SOD, ±CAT, >POD> ASPX تزداد	>peroxides, >MDA		يزداد
الفقد الرطوبى	تدهور فى النوعية					يزداد
زيادة الأكسجين	تلون بنى باللب	<LSA, <ascorbate	<ASPX, <CAT, >DHAR			
نقص الأكسجين	احتراق واسمرار سطحى خفيف	<ascorbate	>SOD, >CAT	<α-Farnesene		ينخفض
الإثيلين	اصفرار – احتراق واسمرار سطحى – تبقع صدئ	<ascorbate	>ASPX,> CAT <DHAR, <GR, <SOD	>Lipid hydroperoxides >MDA, >α=farnesene	>H_2O_2	
الإشعاع	تلون بنى – نضج غير طبيعى – احتراق واسمرار سطحى – انهيار الأنسجة	±GSH, ±carotenoids, ±ascorbate		>DNA fragmentation	>O_3, H_2O_2	ينخفض

٣- هواء المخزن:

يؤدى التخزين فى هواء متحكم فى مكوناته CA، أو هواء معدل MA إلى إبطاء التنفس والأيض، وتقليل الشدّ التأكسدى، والشيخوخة، والحساسية للإثيلين. وأضرار الحرارة المنخفضة، وأضرار الإصابات المرضية والحشرية. ويهمنا هنا تأثير مكونات الهواء فى خفض الشدّ التأكسدى؛ الأمر الذى لوحظ فى البروكولى المخزن فى ٧,٥٪ ثانى أكسيد الكروبن مع ١١,٢٪ أكسجين، حيث قل الشدّ التأكسدى من خلال المحافظة على حامض الأسكوربيك، والكاروتينات، والكلوروفيل، والأحماض الدهنية غير المشبعة.

٤- الشدّ الرطوبى:

تزداد أضرار البرودة بزيادة الفقد الرطوبى من المنتج، وتقل بزيادة الرطوبة النسبية فى هواء المخزن. ولقد لوحظ ارتباط ذبول المنتجات بانخفاض محتواها من مضادات الأكسدة؛ الأمر الذى لوحظ بالنسبة لحامض الأسكوربيك فى كل من الكيل والكرنب والفاصوليا الخضراء، وبالنسبة للكاروتين فى الكيل والكولارد وأوراق اللفت. كذلك وجد أن الفقد الرطوبى يؤدى إلى زيادة إنتاج الـ AOS — وبخاصة فوق أكسيد الأيدروجين — فى الأنسجة النباتية (Hodges وآخرون ٢٠٠٤).

٥- التداول:

إن الخدوش والجروح ودرجات الحرارة التى تتعرض لها المنتجات الطازجة أثناء تداولها يمكن أن تزيد من الشدّ التأكسدى.

٦- الأشعة المؤينة:

يؤدى التعرض للأشعة المؤينة (مثل أشعة جاما) إلى إنتاج مركبات مؤكسدة يمكن أن تضر بالأنسجة فى الخضر والفاكهة. تنتج الأشعة المؤينة الأوزون فى كل من الهواء وأى أنسجة نباتية تحتوى على الأكسجين؛ مما يؤدى إلى الإضرار بالأغشية الخلوية والبروتينات والحامض النووى DNA.

٧- الشيخوخة:

ترتبط الشيخوخة فى الأنسجة النباتية بالإنتاج الزائد من الـ AOS فى مختلف الأجزاء النباتية.

٨- النضج:

تعتبر بداية نضج الثمار هى بداية لدخولها فى مجموعة من التغيرات الفسيولوجية التى تقود فى نهاية الأمر إلى شيخوختها، ويحدث أثناء ذلك زيادة تدريجية ومطردة فى مستويات الـ AOS؛ بسبب حدوث انخفاض فى نشاط إنزيمات أساسية فى آليات عمل مضادات الأكسدة بالخلايا.

٩- الإثيلين:

قد يزداد تمثيل الإثيلين بالـ AOS وبنشاط الـ lipoxygenese أثناء أكسدة دهون الأغشية الخلوية، مما يسرع بدرجة أكبر من كل من النضج والشيخوخة (Hodges وآخرون ٢٠٠٤).

التغيرات غير المرغوبة التالية للحصاد

تشمل التغيرات غير المرغوبة كل ما يؤدى إلى تدهور المحصول وتلفه. وهى فى غالب الأمر امتداد للتغيرات المرغوبة التى سبق بيانها؛ حيث تتخطى الثمار مرحلة النضج المناسبة للاستهلاك وتصبح زائدة النضج. كما أن من التغيرات غير المرغوبة مالا علاقة له بمسألة النضج كما سيأتى بيانه. ومن هذه التغيرات ما يلى:

التغيرات فى اللون

قد تحدث تغيرات غير مرغوبة فى اللون، ومن أمثلتها ما يلى:

١- فقدان الكلوروفيل – أى فقدان اللون الأخضر – فى الخضر التى تؤكل خضراء؛ كالخضر الورقية، والخيار، والفاصوليا، والبسلة الخضراء وغيرها.

٢- تكوُّن لون بنى غير مرغوب فيه نتيجة لأكسدة المواد الفينولية، كما فى البطاطس.

٣- اخضرار درنات البطاطس عند تعرضها للضوء.

التغيرات فى الكربوهيدرات

من أمثلة التغيرات غير المرغوبة فى المواد الكربوهيدراتية ما يلى:

١- تحول النشا إلى سكر فى البطاطس المخزنة على حرارة أقل من ٥ °م، حيث تتراكم السكريات تحت هذه الظروف. ويؤدى ذلك إلى اكتساب البطاطس لونًا بنيًا داكنًا، بدلاً من اللون الأصفر الذهبى المرغوب فيه عند القلى فى الزيت بسبب احتراق السكريات. ويرجع ذلك التغير فى اللون إلى السكريات المختزلة فقط، وتختلف الأصناف فى مدى قابليتها لتراكم السكريات المختزلة عند التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة.

٢- تحول السكر إلى نشا فى بعض الخضروات – كالبسلة، والذرة السكرية – عند تخزينها فى حرارة مرتفعة؛ فتفقد الذرة السكرية ٦٠٪ من محتواها من السكر خلال يوم واحد من التخزين فى حرارة ٣٠ °م، بالمقارنة بـ ٦٪ فقط عند التخزين فى الصفر المئوى. ويصاحب فقدان السكر انخفاض كبير فى صفات الجودة.

فقدان الصلابة

تفقد الثمار صلابتها نتيجة البكتينات والمواد الأخرى العديدة التسكر، وتصبح طرية وأكثر حساسية للأضرار الميكانيكية. وقد تزداد الصلابة نتيجة لنمو الألياف، كما فى الكرفس.

التغيرات فى الطعم

تحدث التغيرات غير المرغوبة فى الخضر المخزنة؛ نتيجة لما يحدث بها من تغيرات فى الأحماض العضوية، والبروتينات، والأحماض الأمينية، والدهون (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

فقدان حامض الأسكوربيك

يتأثر محتوى الخضر من حامض الأسكوربيك بالظروف والمعاملات التى تتعرض لها بعد الحصاد، حيث يتأثر المحتوى بكل مما يلى:

١- درجة الحرارة والرطوبة النسبية التى يتعرض لها المنتج:

يؤدى التأخير فى تبريد المنتج أوليًا إلى انخفاض محتواه من حامض الأسكوربيك. ويحدث الأمر ذاته مع استمرار التخزين فى حرارة الغرفة بدلاً من التخزين المبرد. وفى المقابل .. فإن الإصابة بأضرار البرودة تخفض هى الأخرى من محتوى حامض الأسكوربيك فى المنتجات الحساسة للبرودة، وذلك قبل ظهور أية أعراض لأضرار البرودة.

كذلك فإن كل الظروف التى تزيد من ذبول المنتجات — وخاصة انخفاض الرطوبة النسبية — تؤدى إلى فقد سريع فى محتواها من حامض الأسكوربيك. ويؤدى التغليف — الذى يقلل من الفقد الرطوبى — إلى تقليل الفقد فى الفيتامين.

٢- الجروح والتقليم والتقطيع:

ينخفض دائمًا محتوى الخضر من حامض الأسكوربيك لدى تجريحها أو خدشها أو تقطيعها بأى طريقة كانت، وتزداد الحالة سوءًا — بطبيعة الحال — فى الخضر التى تجهز للمستهلك fresh-cut. ولذا .. فإن استعمال الشفرات الحادة فى التقطيع التى تقل معها الجروح، يقل معها — كذلك — الفقد فى حامض الأسكوربيك.

٣- المعاملات الكيميائية

يزداد محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك عندما تعامل ببعض المركبات الكيميائية مثل كلوريد الكالسيوم، والـ cystein hydrochloride، والإثيلين.

٤- التعريض للإشعاع:

يقل — أحيانًا — معدل الفقد فى حامض الأسكوربيك فى الخضر المعاملة بالإشعاع.

٥- مدة التخزين:

يحدث انخفاض تدريجى فى محتوى الخضر والفاكهة من حامض الأسكوربيك أثناء التخزين (Lee & Kader ٢٠٠٠).

النموات النباتية

يحدث أثناء التخزين أن تتكون نموات نباتية بالثمار، كما فى الحالات التالية:

١– تزريع البطاطس، والبصل، والثوم، والخضر الجذرية، كالجزر واللفت، ويقلل ذلك من صلاحيتها للتسويق.

٢– نمو الجذور فى الجزر، ويقلل ذلك أيضًا من قيمتها التسويقية.

٣– إنبات البذور داخل الثمار، وهو الأمر الذى قد يحدث أحيانًا فى ثمار بعض سلالات الطماطم والفلفل.

٤– استطالة مهاميز الأسبرجس والتواؤها لأعلى إذا كانت بوضع أفقى أثناء التخزين، وتصاحب ذلك زيادة فى صلابتها.

٥– ظهور نموات زغبية بأقراص القنبيط (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

الفقد فى الوزن

تفقد الخضروات المخزنة جزءًا من رطوبتها عن طريق النتح. ويؤدى ذلك إلى ذبولها وتغير مواصفاتها، كما تقل الكمية الفعلية المسوقة من المحصول. وتزداد سرعة النتح مع ارتفاع درجة حرارة التخزين ونقص الرطوبة النسبية. ويكون النتح بمعدلات مرتفعة فى بداية فترة التخزين، ثم ينخفض تدريجيًّا بعد ذلك.

ومن البديهى أن يكون النتح فى كثير من الخضر الورقية بمعدلات أعلى منها فى الخضروات الأخرى، كما يكون معدله أقل مما يمكن فى الخضروات الدرنية. كذلك يقل النتح مع زيادة الطبقة الشمعية على المنتج، وعند خزن الخضر الجذرية بدون أوراقها.

ويؤدى نقص الرطوبة بنسبة ٣٪–٦٪ فى الخضر المخزنة إلى تدهور كبير فى نوعيتها. ويمكن لبعض الخضروات – كالكرنب – أن تتحمل فقدًا رطوبيًّا تصل نسبته إلى ١٠٪ من وزن الرؤوس، لكنها تحتاج – حينئذٍ – إلى بعض التقليم والتهذيب قبل عرضها فى الأسواق. يوضح جدول (٣–٧) معدل الفقد اليومى فى

وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (حرارة ٢٧ °م، ورطوبة نسبية ٦٠٪).

ومن الممكن خفض الفقد الرطوبى بتعبئة الخضروات فى عبوات بلاستيكية، إلا أنها تَحدُّ من تبادل الغازات، كما تبطئ التوصيل الحرارى. وقد تفقد الخضروات المعبأة جزءًا كبير من رطوبتها إلى العبوات الخشبية، ولهذا ينصح أحيانًا ببل الصناديق الخشبية قبل تعبئتها.

وتعتبر الرطوبة النسبية فى المخازن أهم العوامل المتحكمة فى الفقد الرطوبى؛ لأن الرطوبة النسبية فى المسافات البينية لأنسجة معظم الخضروات تبلغ ٩٩٪ على الأقل؛ ويعنى ذلك استمرار فقدها للرطوبة. ما دامت الرطوبة النسبية فى الجو المحيط بها تقل عن ذلك. ويطلق على الفرق فى ضغط بخار الماء بين الجو الداخلى لأنسجة المنتجات المخزنة والجو الخارجى اسم "vapor-pressure deficit".

جدول (٣-٧): معدل الفقد اليومى فى وزن الخضر المختلفة عندما تكون ظروف التخزين غير مناسبة (حرارة ٢٧ °م، ورطوبة نسبية ٦٠٪) (عن **Lutz & Hardenburg** ١٩٦٨).

الخضر	معدل الفقد اليومى (٪)
الأسبرجس	٨,٤
الفاصوليا الخضراء	٤,٠
الجزر (بدون أوراق)	٣,٦
البنجر (بدون أوراق)	٣,١
الخيار	٢,٥
قرع الكوسة	٢,٢
الطماطم	٠,٩
القرع العسلى	٠,٣

ويحدث معظم الفقد فى الرطوبة أثناء مراحل التبريد الأولىّ؛ حيث يكون الفرق فى ضغط بخار الماء كبيرًا، ويقل – تدريجيًّا – مع انخفاض درجة الحرارة. ويعطى جدول (٣–٨): أمثلة تبين أهمية كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء، وبالتالى على الفقد الرطوبى من الخضر المخزنة.

ويوضح جدول (٣–٩) الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة؛ حيث لا تكون بعدها صالحة للتسويق. هذا .. وبرغم أن جزءًا من الفقد فى الوزن يرجع إلى التنفس، إلا أن ذلك الجزء لا يُعْتَدُّ به، بالمقارنة بالفقد الرطوبى.

جدول (٣–٨): أهمية درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى التأثير على الفرق فى ضغط بخار الماء؛ وبالتالى على الفقد الرطوبى فى الخضر المخزنة (عن **Lutz & Hardenburg ١٩٦٨**).

المثال	الرطوبة النسبية (%)	ضغط بخار الماء (سم زئبق)
١- درجة حرارة الخضر ٢١°م	١٠٠	١٨,٧٦
درجة حرارة الهواء صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
الفرق فى ضغط بخار الماء		١٤,١٨
٢- درجة حرارة الخضر صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء صفر°م	٥٠	٢,٢٩
الفرق فى ضغط بخار الماء		٢,٢٩
٣- درجة حرارة الخضر ٢,٢°م	١٠٠	٥,٣٧
درجة حرارة الهواء ٢,٢°م	٩٠	٤,٨٣
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٥٤
٤- درجة حرارة الخضر صفر°م	١٠٠	٤,٥٨
درجة حرارة الهواء صفر°م	٩٠	٤,١٢
الفرق فى ضغط بخار الماء		٠,٤٦

جدول (٣-٩): الحد الأقصى المسموح به للفقد الرطوبى فى الخضروات المخزنة؛ حيث تصبح الخضروات بعدها غير صالحة للبيع (عن Fordham & Biggs ١٩٨٥).

الخضر	الحد الأقصى المسموح به للفقد فى الرطوبة (٪)
الأسبرجس	٨
الفول الرومى	٦
البنجر (جذور)	٧
البروكولى	٤
الكرنب بروكسل	٨
الكرنب (أصناف مختلفة)	٧-١٠
الجزر (جذور)	٨
الجزر (بأوراقه)	٤
القنبيط	٧
الكرفس	١٠
الكرات أبو شوشة	٧
البصل	١٠
الجزر الأبيض	٧
البطاطس	٧
البسلة (بالقرون)	٥
السبانخ	٣
الذرة السكرية	٧
الطماطم	٧
اللفت	٥
الخس	٣-٥

التغيرات المرغوبة التالية للحصاد

من أهم التغيرات المرغوبة التى تحدث فى محاصيل الخضر بعد الحصاد ما يلى:

١- كل التغيرات التى تؤدى إلى تحسين الصفات التى تجعل الثمار صالحة للأكل.

سواء من حيث اللون، أم النكهة، أم القوام. وهى تغيرات تصاحب استكمال النضج فى الثمار التى تحصد قبل تمام نضجها، كما فى الطماطم، والقاوون الشبكى، والقاوون الأملس.

فالطماطم تحصد – عادة – بين طور اكتمال التكوين الأخضر، وطور النضج الوردى حسب درجة الحرارة السائدة، والمدة التى تمر من الحصاد إلى التسويق، وتستكمل الثمار تلونها قبل وصولها إلى المستهلك.

والقاوون الشبكى يكتسب أفضل طعم ونكهة بعد ٢–٣ أيام من التخزين.

أما القاوون الأملس، فتلزمه المعاملة بالإثيلين لاستكمال النضج بعد الحصاد.

٢– يعتبر تبييض الكرفس من التغيرات المرغوبة لدى قطاع من المستهلكين – والتى تحتاج هى الأخرى – إلى المعاملة بالإثيلين.

٣– ومن التغيرات المطلوبة أيضًا تحول النشا إلى سكر أثناء فترة العلاج فى جذور البطاطا، وفى ثمار القرع العسلى، ومع إطالة فترة التخزين، وفى الجزر فى الأيام الأولى من التخزين.

الفصل الرابع

التنفس

تتضمن عملية التنفس استهلاك مركبات عضوية فى النسيج النباتى (هى عادة سكر) مع أكسجين الهواء الجوى لتكوين عدة مركبات وسطية إلى أن ينطلق فى نهاية الأمر ثانى أكسيد الكربون والماء. ويمكن الاحتفاظ بالطاقة المنتجة من عدة تفاعلات – من تلك التى يتضمنها أيض التنفس – فى صورة روابط عالية الطاقة تستعمل بواسطة الخلية فى تفاعلات لاحقة، أو قد تفقد تلك الطاقة كحرارة تنطلق مع ثانى أكسيد الكربون والماء. وتستخدم الطاقة والمركبات العضوية المنتجة أثناء التنفس بواسطة عمليات أيضية أخرى للمحافظة على جودة ونضارة المنتج. وتعرف الحرارة التى تنتج أثناء التنفس باسم الحرارة الحيوية، وهى تُسهم فى زيادة أحمال التبريد التى يجب أخذها فى الحسبان عند تصميم حجرات التبريد.

تتباين المنتجات كثيرًا فى المعدل الطبيعى لتنفسها، ويوجه جل الاهتمام فى مرحلة بعد الحصاد نحو خفض معدل التنفس والتفاعلات الأيضية الأخرى التى ترتبط بالمحافظة على جودة المنتج، وذلك بالتحكم فى البيئة الخارجية.

وعمومًا .. فإن فترة تحمل المنتَج للتخزين تتناسب عكسيًّا مع معدل تنفسه؛ ذلك لأن التنفس يمد النسيج النباتى بالمركبات التى تحدد معدل العمليات الأيضية ذات العلاقة المباشرة بخصائص الجودة، مثل الصلابة، ومحتوى السكر، والنكهة، والطعم ... إلخ (Saltveit ٢٠٠٤أ).

أيض التنفس

إن التنفس respiration هو بمثابة تفاعل هدم وأكسدة لجزيئات معقدة من مواد أولية تتواجد طبيعيًّا فى الخلايا النباتية، مثل النشا والسكريات والأحماض العضوية .. هدمها

إلى مركبات أبسط مثل ثانى أكسيد الكربون والماء. ويتوافق مع تفاعل الهدم ذلك إنتاج الطاقة ومركبات وسطية تلزم لدعم سلسلة من تفاعلات أيضية ضرورية لإدامة التنظيم الخلوى والمحافظة على سلامة أغشية الخلايا الحية. ونظرًا لأن معدل التنفس يرتبط ارتباطًا قويًا بمعدل الأيض، فإن تقديرات التنفس تعد وسيلة سهلة للتعرف على الحالة الأيضية والفسيولوجية للأنسجة دون الحاجة إلى إجراء اختبارات قد تؤدى إلى تدميرها. وعلى سبيل المثال، فإن أحداث الشيخوخة والنضج غالبًا ما تُصاحَب بتغيرات حادة فى التنفس.

الطاقة المنطلقة من التنفس

إن الهدف الرئيسى من تنفس الكائنات الحية هو المحافظة على تواجد قدر كافٍ من الـ adenosine triphosphate (اختصارًا: ATP). فعملية التنفس الهوائى تتضمن توليد ATP من الـ adenosine diphosphate (اختصارًا: ADP) والفوسفور غير العضوى (Pi)، مع انطلاق ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء. وإذا ما كان المستخدم فى التنفس سكر سداسى فإن معادلة التنفس يمكن بيانها، كما يلى:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 38\ ADP + 38\ Pi \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 38\ ATP + 686\ kcal$$

ولمكونات ذلك التفاعل مصادر مختلفة ونهايات مختلفة. فمول الجلوكوز (١٨٠ جم) يمكن أن يأتى من السكريات البسيطة المخزنة (مثل الجلوكوز والسكروز)، أو من عديدات التسكر المعقدة (مثل النشا). كذلك فإن الدهون والبروتينات يمكن أن تشكل مواد أولية للتنفس إلا أن مكوناتها (مثل الأحماض الدهنية والجليسرول والأحماض الأمينية) تدخل فى مرحلة متأخرة من العملية. أما الـ ١٩٢ جم من الأكسجين التى تدخل فى التفاعل (٦ مول × ٣٢ جم/جزئ) والتى تستخدم فى أكسدة مول الجلوكوز فإنها تنتشر خلال النسيج من الهواء المحيط به، بينما تنتشر الـ ٦ مول من ثانى أكسيد الكربون (٢٦٤ جم) خارج النسيج. هذا فى الوقت الذى يندمج الـ ٦ مول من الماء الناتج من التفاعل (١٠٨ جم) ضمن المحاليل السائلة للخلية.

وبالنسبة للطاقة الناتجة من التنفس الهوائى (٦٨٦ كيلو كالورى/مول من الجلوكوز) فإن مصيرها يتوزع كما يلى:

١- حوالى ١٣ كيلو كالورى تفقد بسبب الزيادة فى الإنتروبيا entropy (عامل مقياس الطاقة غير المستفادة فى نظام دينامى حرارى) عندما ينكسر جزئ الجلوكوز المعقد إلى جزيئات أبسط.

٢- حوالى ٢٨١ كيلو كالورى (أى حوالى ٤١٪ من الطاقة الكلية المنتجة) تستخدم فى إنتاج ٣٨ جزئ ATP (٣٨ ATP × ٧,٤ كيلوكالورى لكل ATP).

٣- يفقد حوالى ٣٩٢ كيلو كالورى (أى حوالى ٥٧٪ من الطاقة الكلية المنتجة) على صورة حرارة.

وفى حقيقة الأمر، فإن معظم الطاقة الناتجة من التنفس تفقد على صورة حرارة نظرًا لأنه حتى الطاقة التى تحول إلى الـ ATP تنطلق ويفقد جزء منها فى كل مرة يحدث تفاعل يتطلب تحولات فى الطاقة.

وكلما ازداد معدل التنفس، ازدادت كمية الطاقة المنطلقة؛ فمثلاً .. يؤدى ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى ١٥ °م إلى زيادة كمية الطاقة المنطلقة إلى ستة أضعاف تقريبًا فى الذرة السكرية والبسلة. وتصل الزيادة إلى عشرة أضعاف عند وصول الحرارة إلى ٢٧ °م. وفى السبانخ تصل الزيادة فى الطاقة المنطلقة إلى تسعة أضعاف تقريبًا مع ارتفاع الحرارة من صفر إلى ١٥ °م.

تفاعلات التنفس الهوائى

يتضمن التنفس الهوائى سلسلة من ثلاثة تفاعلات معقدة يحفز كل منها بعدد من الإنزيمات تقوم إما: (١) بإضافة مجموعة فوسفات تحتوى على طاقة الجزئ الأولى، أو (٢) إعادة ترتيب الجزئ، أو (٣) تحليل الجزئ إلى مكونات أبسط منه. وتلك المسارات الأيضية الثلاثة المتصلة معًا هى ما تعرف – على التوالى – بالأسماء: جلكزة glycolosis، ودورة حامض الترای كربوكسيلك tricarboxylic acid cycle (اختصارًا: TCA)، ونظام انتقال الإليكترونات electron transport system.

١ – الـ Glycolosis:

إن الـ glycolosis هي عملية تحلل الجلوكوز. وهي تحدث في سيتوبلازم الخلايا. وتتضمن إنتاج جزيئين من حامض البيروفيك من كل جزئ من الجلوكوز. وتشتمل على عشرة تفاعلات متميزة يتحكم في كل منها إنزيم مختلف. ومن أبرزها الإنزيمين phosphofructokinase (اختصارًا: PFK)، و pyruvate kinase (PK). ويمكن للخلايا أن تتحكم في معدل إنتاجها للطاقة بالتأثير في معدل الـ glycolosis، الأمر الذي يتم – أساسًا – من خلال التحكم في نشاط كل من الـ PFK، و PK. ويستخدم في هذا الشأن أحد نواتج الأكسدة – وهو الـ ATP – كمثبط (negative feed-back inhibitor) للتحكم في نشاط الـ PFK. هذا علمًا بأن الـ glycolosis تنتج جزيئين من الـ ATP وجزيئين من الـ NADPH من تحلل كل جزئ من الجلوكوز.

٢– دورة ثلاثي حامض الكربوكسيلك:

تحدث دورة ثلاثي حامض الكربوكسيلك tricarboxylic acid cycle (اختصارًا: TCA) في الميتوكوندريا، وتتضمن تحلل حامض البيروفيك إلى ثاني أكسيد الكربون في تسعة تفاعلات إنزيمية متتابعة. يفقد حامض البيروفيك أولا مجموعة كربوكسيل (يعطي ثاني أكسيد الكربون) لينتج حامض الأسيتيك الذي يتحد مع مرافق إنزيمي ليعطي acetyl CoA. يدخل هذا المركب بعد ذلك في الدورة حيث يتحد مع الـ oxalacetate ليعطي حامض الستريك، وهو الذي يحتوي على ثلاث مجموعات كربوكسيل التي جاء منها اسم الدورة. وخلال سلسلة من سبع تفاعلات متتابعة تتضمن إعادة ترتيبات، وأكسدة، وفقدان لمجموعة الكربوكسيل .. يتحول حامض الستريك ثانية إلى oxalacetate، الذي يكون حينئذٍ مستعدًا لتقبل جزئ acetyl CoA آخر. وإلى جانب إنتاجها لعديد من الجزيئات الصغيرة التي تستعمل في التفاعلات الأيضية للخلية .. فإن دورة الـ TCA تنتج كذلك جزيئات من الـ flavine adenine dinucleotide (اختصارًا: $FADH_2$) وأربعة جزيئات من الـ NADH مقابل كل جزئ مستهلك من حامض البيروفيك.

٣- نظام انتقال الإليكترونات:

يحدث نظام انتقال الإليكترونات electron transport system على الأغشية فى الميتوكوندريات، وهو يتضمن إنتاج الـ ATP من المواد الوسطية الغنية بالطاقة $FADH_2$، و NADH، علمًا بأن الطاقة التى توجد فى جزئ من NADH أو $FADH_2$ أكثر مما يلزم لمعظم العمليات الخلوية الحيوية. وفى سلسلة من التفاعلات ينتج جزئ من الـ NADH ثلاثة جزيئات من الـ ATP، بينما ينتج جزئ من الـ $FADH_2$ جزيئان من الـ ATP.

وفى غياب الأكسجين، يتراكم الـ NADH، والـ $FADH_2$ فى صورة مختزلة، أما فى صورتيهما المؤكسدتين (وهما NAD^+، و FAD) فإنهما يُستهلكا، وتنتهى دورة الـ TCA، وتصبح الجلكزة glycolysis هى المصدر الوحيد لإنتاج الـ ATP. ويعد إعادة تكوين الـ NAD^+ حتميًا لبقاء الخلية أثناء التنفس اللاهوائى، ويحدث ذلك أثناء فقد حامض البيروفيك للكربوكسيل اختزاليًا إلى كحول إثيلى أثناء أيض التخمر.

تفاعلات التخمر أو التنفس اللاهوائى

يتضمن التخمر أو التنفس اللاهوائى تحول السكريات السداسية إلى كحول وثانى أكسيد كربون فى غياب الأكسجين. ويمكن أن يتحول حامض البيروفيك المنتج خلال الجلكزة – عن طريق سلسلة من تفاعلات لا تتطلب أكسجين – إلى حامض لاكتيك، أو حامض ماليك، أو acetyl CoA، أو أسيتالدهيد acetaldehyde. ويعتمد المسار المتبع على pH الخلية، ومدى سبق تعرضها لحالات شدّ، والاحتياجات الأيضية الآنية لها. وتؤدى زيادة حموضة السيتوبلازم إلى تحفيز نشاط الإنزيم pyruvic decarboxylase الذى يحول حامض البيروفيك إلى ثانى أكسيد كربون وأسيتالدهيد. ويتحول الأسيتالدهيد بواسطة الإنزيم alcohol dehydrogenase إلى كحول إثيلى بتكوين NAD^+. وفى التنفس اللاهوائى(التخمر الكحولى) يُنتج جزيئان من الـ ATP و ٢١ كيلوكالورى من الطاقة الحرارية من كل جزئ من الجلوكوز. ولإدامة إنتاج الـ

ATP بمعدل يماثل معدل إنتاجه فى التنفس الهوائى يلزم استهلاك ١٩ جزئ من الجلوكوز مع زيادة معدل الجلكزة ١٩ ضعفاً. ولكن نظرًا لأن جزيئين فقط من ثانى أكسيد الكربون ينتجان أثناء الجلكزة بدلاً من ستة جزيئات أثناء التنفس الهوائى. فإن معدل إنتاج ثانى أكسيد الكربون لا يزداد بمقدار ١٩ ضعف ولكن فقط بمقدار ٦.٣ مرة (١٩÷٣). وفى الوقت ذاته يحدث تراكم شديد للكحول الإثيلى مع إنتاج كميات أقل من الأسيتالدهيد.

هذا .. ويعرف تركيز الأكسجين الذى يتحول عنده التنفس من هوائى إلى لاهوائى باسم extenction point أو anaerobic compensation point، أو fermentative threshold. وبسبب اختلاف تركيز الأكسجين فى أنسجة الثمرة الواحدة بسبب سرعة انتشار الغاز خلالها ومعدل التنفس. فإن بعض أجزاء الثمرة قد يحدث فيها تنفس لاهوائى، بينما قد تكون أجزاء أخرى منها ما تزال تتنفس هوائيًّا (Saltveit ٢٠٠٤أ).

معامل التنفس

غالبًا ما يحدد تركيب المنتج المواد الأولية التى تستخدم فى التنفس. وبالتالى تتحدد قيمة معامل التنفس Respiretory Quotient (اختصارًا: RQ) تعرف الـ RQ بأنها نسبة ثانى أكسيد الكربون المنطلق إلى الأكسجين المستهلك أثناء التنفس. ويمكن قياس كلا من ثانى أكسيد الكربون والأكسجين بالمولات moles أو بالحجم. وتبعًا للمادة الأولية التى تؤكسد .. فإن قيمة RQ للمنتجات الطازجة تتراوح من ٠.٧ إلى ١.٣ فى حالة التنفس الهوائى.

إن الأكسدة الكاملة للمالييت malate تحدث كما يلى:

$$C_4H_6O_5 + 3O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 3H_2O$$

ويترتب على عملية الأكسدة إنتاج ثانى أكسيد الكربون بقدر يزيد عن الأكسجين المستهلك، بينما تؤدى أكسدة الجلوكوز إلى إنتاج ثانى أكسيد الكربون بقدر مماثل

للأكسجين المستهلك. وتلك العلاقة تصبح مهمة عندما يقدر التنفس اعتمادًا على التبادل الغازى، والذى يتم فيه قياس كمية ثانى أكسيد الكربون المنتجة، وكمية الأكسجين المستنفذة أو كلاهما.

ولقد طوِّر مفهوم معامل التنفس RQ لقياس تلك العلاقة كما يلى:

RQ = ثانى أكسيد الكربون المنتج (بالميلليتر)/الأكسجين المستنفذ (بالميلليتر)

وفى حالة الأكسدة الكاملة فإن الـ RQ للجلوكوز = ١,٠، بينما تكون للماليت ١,٣.

وإذا كانت المادة المؤكسدة أحماض دهنية طويلة السلسلة مثل حامض الاستياريك stearic acid فإن المعادلة تصبح كما يلى:

$$C_{18}H_{36}O_2 + 26O_2 \longrightarrow 18CO_2 + 18H_2O$$

ونظرًا لأن تلك الأحماض الدهنية تحتوى قدرًا من الأكسجين مقابل كل ذرة كربون أقل مما هو الحال فى السكريات، لذا .. فإنها تستهلك قدرًا أكبر من الأكسجين لأجل إنتاج ثانى أكسيد الكربون عند أكسدتها. ونجد فى التفاعل السابق أن الـ RQ = ٠,٧.

ويمكن أن يكون قياس الـ RQ مؤشرًا على نوع المادة المؤكسدة أثناء التنفس، علمًا بأن القيمة المنخفضة تعنى أن الأكسدة لأحماض دهنية، بينما القيم العالية تفيد أكسدة الأحماض العضوية (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وتفيد القيم العالية جدًا للـ RQ حدوث تنفس لاهوائى (Saltveit ٢٠٠٤أ).

أهمية التنفس

ترجع أهمية التنفس إلى تأثيره على عديد من التطورات الحيوية، كما يلى:

١– فترة الصلاحية للتخزين:

توجد بصورة عامة علاقة عكسية بين معدل التنفس وفترة الصلاحية للتخزين؛ ذلك لأن

التنفس يعكس النشاط الأيضى للأنسجة، الذى يؤثر – بدوره – فى فقد المركبات الأولية، وتمثيل مركبات جديدة، وانطلاق الطاقة الحرارية.

٢– فقد المركبات الأولية:

يؤدى استعمال مختلف المركبات الأولية فى التنفس إلى استهلاك مخزونها فى الأنسجة، مما يقلل من جودة طعمها وبخاصة حلاوتها. وكذلك حدوث فقد فى قيمتها الغذائية. وبالنسبة لبعض المنتجات التى تخزن لفترات طويلة فإن الفقد فى الوزن الجاف قد يكون كبيرًا. وإذا كان أحد السكريات السداسية مثل الجلوكوز هو المركب الأولى المستعمل فى التنفس، نجد أنه يفقد منه ١٨٠ جم مقابل كل ٢٦٤ جم من ثانى أكسيد الكربون الذى ينطلق بالتنفس.

ويمكن حساب الفقد فى الوزن الجاف، كما يلى:

الفقد فى الوزن الجاف (جم لكل كجم فى الساعة) = ثانى أكسيد الكربون المنطلق بالكيلوجرام فى الساعة × ٠.٠٦٨.

وإذا ما علمنا أن تنفس البصل – على سبيل المثال – على ٣٠°م ينطلق معه ٣٥ مجم ثانى أكسيد كربون فى الساعة لكل كيلوجرام من البصل، فإن ذلك يعنى – بتطبيق المعادلة – فقد البصل لنحو ١.٧٣٪ من وزنه الجاف شهريًا.

٣– تمثيل مركبات جديدة:

قد يوجه التخزين بعد الحصاد إما لهدف منع أى نقص فى الجودة، وإما إلى تحفيز تغيرات تُحسن من الجودة. وتكون جودة معظم الخضروات (مثل الخيار والخس) والثمار غير الكلاميكتيرية (مثل الفراولة) فى أوجها عند الحصاد، ويتم وضعها فى ظروف التخزين التى تحد من أى نقص فى الجودة. وفى المقابل فإن عديدا من الأزهار (مثل القرنفل والورد) والثمار غير الكلايمكتيرية (مثل الليمون والبرتقال) والثمار الكلايمكتيرية (مثل الموز والطماطم) تحصد قبل وصولها إلى أفضل جودة. ويتم اختيار ظروف التخزين التى تسمح بتطوير تلك الجودة. ونجد فى الحالة الأولى أن تمثيل مركبات جديدة ليس

ضروريًا لأنها تقلل النوعية. مثل الإنزيمات التى تحلل الكلوروفيل فى الخس أو تزيد اللجننة فى الأسبرجس. وفى الحالة الثانية فإن تمثيل الصبغات والمركبات العطرية المتطايرة (مثل الليكوبين فى الطماطم والـ amyl esters فى الموز)، وفقد الكلوروفيل بالإنزيمات المحللة له (كما فى الموز والليمون)، وتحول النشا إلى سكر (كما فى التفاح والموز) تعد تغيرات ضرورية للوصول إلى أفضل جودة. وتتطلب تلك التفاعلات طاقة ومركبات عضوية يُحصل عليها من التنفس (Saltveit ٢٠٠٤أ).

٤– انطلاق الطاقة الحرارية:

أن الحرارة الحيوية التى تنتج بالتنفس – والتى تكون حوالى ٦٧٣ كيلوكالورى لكل وزن جزيئى من السكر (١٨٠ جم) تعد عاملاً أساسيًا فى حسابات أحمال التبريد عند تصميم المبردات أثناء الشحن والتخزين. كذلك فإنها تؤثر فى القرارات المتعلقة باختيار الطرق المناسبة للتبريد، ونظام التعبئة، وطريقة صفّ العبوات، ووسائل ونظام حركة الهواء والتهوية فى المخازن المبردة (Saltveit ٢٠٠٤أ).

وتقدر الطاقة المنطلقة بالوحدات الحرارية البريطانية British thermal units، والوحدة (Btu) هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنهيتية.

وتحسب كمية الطاقة المنطلقة يوميًا بضرب معدل التنفس (فى صورة ملليجرامات CO_2/كجم/ساعة) فى ٢٢٠. وقد حصل على هذا العامل بضرب ٢،٥٥ جم كالورى (من الحرارة التى تنطلق مع كل ملليجرام من CO_2 المنتج عند تأكسد سكر سداسى) فى ٨٦،٣. وهذا العامل (٨٦،٣) هو ناتج تحويل سعرات حرارية/كجم/ساعة إلى Btu/ طن/يوم.

وبرغم البساطة التى تتم بها هذه التحويلات، وبرغم أن عملية التنفس ليست بتلك البساطة، إلا أن هذه الطريقة فى حساب كمية الطاقة المنطلقة أثناء التنفس يوميًا تتفق جيدًا مع النتائج المشاهدة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

العوامل المؤثرة فى معدل التنفس

إن أهم العوامل التى تؤثر فى معدل تنفس المنتج بعد الحصاد هى: درجة الحرارة، ونسب مكونات الهواء، والشدّ الفيزيائى، بالإضافة إلى مرحلة التكوين والنضج.

تأثير درجة الحرارة

تعد درجة الحرارة هى أهم عامل مؤثر فى معدل التنفس، ذلك لأن لها تأثير كبير على معدل التفاعلات الحيوية كتلك الخاصة بالأيض والتنفس. وفى حدود المدى الفسيولوجى لمعظم المحاصيل (من صفر إلى ٣٠°م)، فإن ارتفاع الحرارة يقابلها ارتفاع أسىّ فى معدل التنفس. وينص قانون فانت هوف Vant Hoff على أن سرعة أى تفاعل حيوى تزداد بمقدار ٢–٣ أضعاف مع كل ارتفاع فى الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية.

ويعرف معامل الحرارة لكل ١٠ درجات مئوية باسم Q_{10}، وهو الذى يمكن حسابه بقسمة معدل التفاعل عند حرارة معينة (R_2) على معدل نفس التفاعل عند حرارة تقل عنها بمقدار ١٠ درجات مئوية (R_1) .. أى إن:

$$Q_{10} = R_2 / R_1$$

ويفيد الـ Q_{10} فى إمكان حساب معدل التنفس عند درجة حرارة ما من معرفة المعدل عند حرارة أخرى. هذا .. إلاّ أن الـ Q_{10} لا يبقى ثابتًا، حيث يمكن أن يتباين كثيرًا مع تباين درجة الحرارة، ففى الحرارة العالية تكون قيمة Q_{10} – عادة – أقل مما فى الحرارة الأقل.

هذا ويكون تنفس الحاصلات البستانية أقل ما يمكن فى درجة الحرارة الأعلى من درجة التجمد مباشرة، ثم يزيد معدل التنفس بمقدار ٢–٣ أضعاف فيما بين الصفر المئوى و ١٠°م، وبمقدار الضعف مع كل زيادة فى درجة الحرارة بعد ذلك مقدارها ١٠ درجات مئوية فيما بين ١٠ و ٣٥°م.

ويجب أن تعتمد قيمة Q_{10} المقدرة على معدل تنفس المنتج فى البداية، ذلك لأنه بعد تخزينه فى درجات حرارة مختلفة يصبح المنتج فى أعمار فسيولوجية متباينة، وتصبح معدلات التنفس المقدرة له مضللة.

هذا .. ولا يعنى ارتفاع معدل التنفس الابتدائى لمحصول ما أنه بالضرورة ذو Q_{10} مرتفعة، والعكس – كذلك – صحيح.

وتكون قيمة Q_{10} – عادة – كما يلى:

الحرارة (°م)	Q_{10}
صفر – ١٠	٢,٥–٤,٠
١٠–٢٠	٢,٠–٢,٥
٢٠–٣٠	١,٥–٢,٠
٣٠–٤٠	١,٠–١,٥

وتُمكّنا تلك القيم من التنبؤ بتأثير مختلف درجات الحرارة على تنفس أو تدهور المنتج، وفترة الصلاحية للتخزين النسبية (جدول ٤–١). وتبعًا لهذا الجدول .. فإن المنتج إذا كان متوسط فترة صلاحيته للتخزين ١٣ يومًا على ٢٠°م، فإنه قد يمكن تخزينه لمدة ١٠٠ يوم على الصفر المئوى، بينما لا يبقى بحالة جيدة لأكثر من ٤ أيام على ٤٠°م (Saltveit ٢٠٠٤أ).

جدول (٤–١): تأثير درجة الحرارة على معدل تدهور المنتجات الطازجة.

الحرارة (م)	الـ Q_{10} المفترض[أ]	المعدل النسبى لسرعة التدهور	فترة الصلاحية للتخزين النسبية
صفر	—	١,٠	١٠٠
١٠	٣,٠	٣,٠	٣٣
٢٠	٢,٥	٧,٥	١٣
٣٠	٢,٠	١٥,٠	٧
٤٠	١,٥	٢٢,٥	٤

[أ] Q_{10} = (معدل التدهور عند حرارة T + ١٠°م)/معدل التدهور عند حرارة T°م.

ويعطى جدول (٤–٢) الـ Q_{10} الخاصة بمعدل تـدهور بعـض محاصيل الخضـر (عـن Kader & Saltveit ٢٠٠٣).

جدول (٤–٢): قيم Q_{10} الخاصة بمعدل تدهور بعض محاصيل الخضر.

المحاصيل ودليل التدهور	المدى الحرارى (°م)		
	صفر–١٠	١٠–٢٠	٢٠–٣٠
الأسبرجس			
جودة المظهر	٢,٧	٢,٤	١,٨
فقد السكر	٥,٨	٢,٧	١,٤
زيادة الألياف	١٠,٠	٢,٠	٢,٠
كرنب بروكسل (المظهر)	٣,٨	٢,٧	١,٩
الكرفس (المظهر)	٤,١	٢,٣	١,٩
خس الرؤوس (المظهر)	٢,٥	٢,٢	١,٩
البسلة			
جودة المظهر	٣,٣	٢,٨	٢,٠
فقد السكر	٢,٧	٢,٦	١,٥
السبانخ (المظهر)	٣,٣	٢,٥	١,٨
الذرة السكرية (فقد السكر)	٣,٩	٣,٦	١,٥

شدّ البرودة:

يؤدى تعرض منتجات الخضر والفاكهة الحساسة لأضرار البرودة لحرارة تقل عن ١٠ أو ١٢ °م إلى تغيرات غير طبيعية في معدل تنفسها؛ فنجد أن الـ Q_{10} يكون أعلى بكثير في تلك الحرارة المنخفضة في هذه المحاصيل عما فى المنتجات غير الحساسة لأضرار البرودة. كذلك قد يزداد معدل التنفس بصورة كبيرة لدى ارتفاع الحرارة عن المدى الذى تحدث معه أضرار البرودة. ومن المفترض أن تلك الزيادات فى معدل التنفس هى انعكاسات لمحاولات الخلية التخلص من المنتجات الأيضية الوسطية التى تتراكم أثناء

التعرض للحرارة المنخفضة، وكذلك إصلاح الأضرار التى تكون قد حدثت بالأغشية الخلوية والتراكيب الخلوية الأخرى.

الشدّ الحرارى:

مع ارتفاع الحرارة إلى درجة تزيد عن المجال الفسيولوجى المناسب يبدأ التزايد فى معدل التنفس فى النقصان، إلى أن يصبح بالسالب مع اقتراب الحرارة من الدرجة المميتة للأنسجة حيث يختل الأيض وتفقد البروتينات الإنزيمية خصائصها. ويمكن لبعض الأنسجة أن تتحمل الحرارة العالية لدقائق قليلة، وهى الخاصية التى يُستفاد منها فى التطهير السطحى لبعض الثمار من الفطريات السطحية. ويؤدى استمرار التعرض للحرارة العالية إلى انهيار الأنسجة النباتية. هذا .. إلا أن التهيئة الحرارية بتعريض المنتج لفترة قصيرة من الحرارة العالية يمكن أن يُحوِّر من استجابة الأنسجة – فيما بعد للشدّ الحرارى (Saltveit ٢٠٠٤أ).

تأثير مكونات هواء المخزن

يؤدى خفض نسبة الأكسجين وزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى جو المخزن إلى خفض معدل التنفس فى الخضر المخزنة. ويسمى ذلك الإجراء بالتخزين فى الجو المعدل Modified Atmosphere. ويحتوى الجو المعدل – عادة – على ٣٪–٥٪ أكسجينًا، ونحو ٥٪ ثانى أكسيد الكربون.

وفى الحرارة المناسبة لتخزين المحصول فإن ذلك الانخفاض فى معدل التنفس يسمح بإطالة فترة التخزين. أما فى الحرارة الأعلى، فإن الطلب على ثلاثى فوسفات الأدينوزين ATP قد يزيد عن المتوفر منه؛ الأمر الذى يحفز حدوث تنفس لاهوائى، وتكوين مركبات غير مرغوبة الطعم والنكهة.

كذلك فإن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون يؤدى إلى خفض معدل تنفس المنتجات الطازجة، ويؤخر شيخوختها، ويثبط نمو الفطريات بها. هذا إلاّ إنه عند انخفاض تركيز الأكسجين، يمكن أن تحفز زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أيض التخمر. هذا .. ويمكن

لبعض المنتجات أن تتحمل التخزين لأيام قليلة فى حرارة منخفضة فى جو لا يحتوى إلاّ على غاز النيتروجين، أو فى تركيزات عالية جدًّا من ثانى أكسيد الكربون.

يتبين مما تقدم ضرورة توفر كمية كافية من الأكسجين؛ لكى يستمر التنفس هوائيًّا وينطلق الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون؛ وحتى لا يؤدى غياب الأكسجين إلى جعل التنفس لا هوائيًّا، وما يتبع ذلك من إنتاج للكحول، وحامض الخليك، وثانى أكسيد الكربون. علمًا بأن الكحول ضار بالأنسجة النباتية. ويؤدى إلى موت الخلايا. كما أن المركبات الوسطية الأخرى التى تتكون أثناء عملية التنفس اللاهوائى هذه ضارة أيضًا. فدرنات البطاطس يتكون بها التيروزين tyrosine المسئول عن اللون الأسود فى الدرنات المصابة بحالة القلب الأسود. وتتكون بالكرنب والكرفس مواد تحدث نقرًا وبقعًا صغيرة متناثرة فى أعناق الأوراق والعروق.

وتتضح من ذلك أهمية التهوية فى حجرات التخزين. كما أنه من الضرورى تحريك الهواء خلال المحصول المخزّن لنقل الحرارة الناتجة من التنفس.

تأثير الشدِّ الفيزيائى

إن تعرض المنتجات لأى شدٍّ بيئى – حتى ولو كان معتدلاً – يحدث اضطرابًا فى تنفسها، بينما تُحدث المعاملة الفيزيائية القاسية ارتفاعًا فى معدل التنفس يكون – غالبًا – مصاحبًا بزيادة فى إنتاج الإثيلين. إن الإشارة التى تحدثها عملية الشدّ الفيزيائى تنتقل من موضع الضرر لتستحث مدى واسع من التغيرات الفسيولوجية فى الأنسجة المجاورة غير المجروحة. ومن أكثر تلك التغيرات التى تُستَحث: التنفس، وإنتاج الإثيلين، وأيض الفينولات، والتئام الجروح. هذا .. ولا يدوم أثر الجروح على معدل التنفس – غالبًا – عن ساعات أو أيام قليلة. وعلى الرغم من ذلك، فإن الجروح تحفز فى بعض الأنسجة تغيرات تطورية، مثل تحفيز النضج؛ وهو الذى يؤدى – بدوره – إلى زيادة فى التنفس تستمر لفترة طويلة. كذلك فإن الإثيلين يحفز التنفس، وقد يكون للشدّ الذى يستحثه الإثيلين تأثيرات فسيولوجية على المنتجات إلى جانب تحفيز التنفس.

تأثير مرحلة التكوين والنضج

تتباين مختلف المنتجات فى معدل تنفسها، ويرتبط ذلك بتباينها فى الأجزاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول. فنجد – مثلاً – أن معدل التنفس يكون منخفضًا فى النقل والدرنات، بينما الأنسجة التى تتكون من أنسجة ميرستيمية مثل الأسبرجس والبروكولى يكون فيها معدل التنفس عاليًا. ومع اكتمال تكوين الأعضاء النباتية فإنه ينخفض معدل تنفسها. ويعنى ذلك أن المنتجات التى تُحصد خلال فترة نموها النشيط – مثل كثير من الخضر والثمار غير المكتملة التكوين – يكون فيها معدل التنفس عاليًا. أما الثمار المكتملة التكوين والبراعم الساكنة وأعضاء التخزين فيكون معدل التنفس فيها منخفض نسبيًا.

وبعد الحصاد نجد أن معدل التنفس ينخفض، ويكون ذلك الانخفاض بطيئًا فى الثمار غير الكلايمكتيرية وفى أعضاء التخزين، وسريعًا فى الأنسجة الخضرية والثمار غير المكتملة التكوين. ويفترض أن التناقص السريع فى معدل التنفس يعكس استهلاكًا للمواد العضوية اللازمة للتنفس، وهى التى تكون بطبيعتها منخفضة التركيز فى مثل تلك الأنسجة. ويشذ عن قاعدة التناقص فى معدل التنفس بعد الحصاد الزيادة التى تكون أحيانًا سريعة جدًا فى معدل التنفس فى الثمار الكلايمكتيرية. وتجزأ تلك الزيادة على أربع مراحل مميزة، هى: التناقص قبل الكلايمكتيرى، والارتفاع الكلايمكتيرى، والقمة الكلايمكتيرية، والتناقص بعد الكلايمكتيرى (عن Saltveit ٢٠٠٤أ).

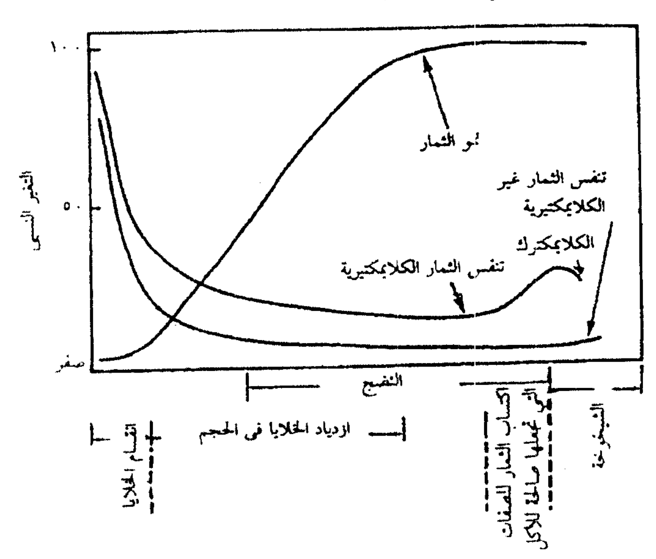
ظاهرة الكلايمكترك

اكتشف Kidd & West ظارهة الكلايمكتريك Climacteric أثناء دراستهما للتغيرات فى معدل تنفس ثمار التفاح عند نضجها؛ فقد لاحظا أن ثمار التفاح تمر بثلاث مراحل كالتالى:

١– فى المرحلة الأولى يحدث انخفاض طفيف فى معدل التنفس، يستمر – تدريجيًا

– مع كبر حجم الثمار، حتى تصل إلى أكبر حجم لها. ويطلق على هذه المرحلة اسم "ما قبل الكلايمكتريك" Preclimacteric Stage.

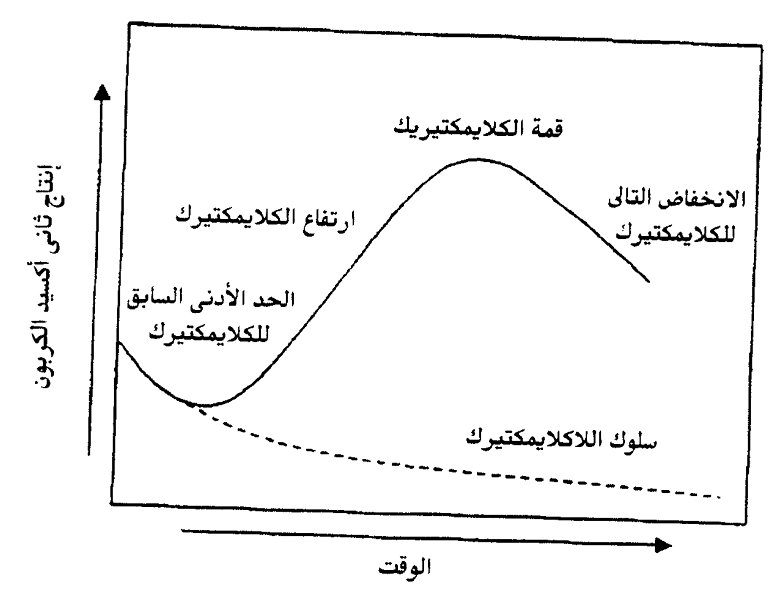
٢– تبدأ المرحلة الثانية بعد وصول الثمار إلى أكبر حجم لها، وتستمر أثناء نضجها. ويحدث أثناءها ارتفاع حاد فى معدل التنفس يصل إلى أقصاه عند اكتمال نضج الثمار. ويطلق على هذه المرحلة اسم "الكلايمكتريك"، أو "ذروة التنفس" Climacteric Stage (أشكال ٤–١أ، و ٤–١ ب، و ٤–١ جـ).



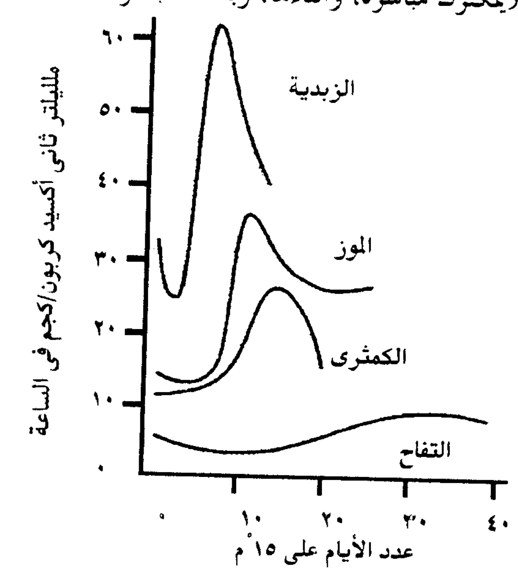
شكل (٤–١ أ): نمو وتنفس الثمار الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية أثناء تكوينها ونضجها (عن Wills وآخرين ١٩٨١).

وتقسم الثمار حسب التغيرات التى تلاحظ فى معدل التنفس بها بعد القطف إلى قسمين:

١– ثمار تحدث فيها ظاهرة الكلايمكتريك، وتسمى الثمار الكلايمكتيرية Climacteric Fruits. ومن أمثلتها: التفاح، والتين، والكمثرى، والمشمش، والخوخ، والبرقوق، والزبدية، والمانجو، والموز، والباباظ، والسابوتا، والبشملة، والطماطم، والقاوون – خاصة الكنتالوب – وكيزان العسل، والجوافة، والكيوى، والنكتارين، والكاكى.



شكل (٤-١ ب): المنحنى الكلاسيكى المعروف لتنفس الثمار الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية قبل مرحلة الكلايمكترك مباشرة، وأثناءها، وبعدها مباشرة.



شكل (٤-١ جـ): تباين منحنى الكلايمكتيرك التنفسى باختلاف الثمار.

٢- ثمار غير كلايمكتيرية Non-Climacteric Fruits: لا يلاحظ بها تغيرات كبيرة فى معدل التنفس بعد القطف. ومن أمثلتها: الكريز، والزيتون، والعنب، والفاصوليا الخضراء، والموالح، والأناناس، والفراولة، والخيار، والفلفل، والباذنجان، والبلوبرى، والكاجو، والجريب فروت، والزيتون، والبطيخ.

ويعطى جدول (٤-٣): قائمة مطولة بالثمار الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية وأسمائها العلمية (عن Watkins ٢٠٠٢).

كما يبين شكل (٤-٢) التغيرات فى كل من إنتاج الإثيلين وثانى أكسيد الكربون، والصلابة، ومحتوى الإثيلين فى ثمار الطماطم (وهى كلايمكتيرية) خلال مختلف مراحل تكوينها من قبل اكتمال التكوين حتى مرحلة النضج الأحمر (عن Srivastava ٢٠٠٢).

وبرغم صحة هذا التقسيم من حيث التغيرات الملاحظة فى معدل التنفس بعد القطف، إلا أنه يمكن القول بأن ظاهرة الكلايمكتريك تحدث فى جميع الثمار اللحمية (اللبية) إذا قطفت بعد اكتمال نموها مباشرة، لكن ما يحدث هو أن بعض الثمار – كالخيار، والكوسة، والباذنجان – تقطف قبل وصولها إلى أقصى حجم لها، فلا تحدث بها الظاهرة، لأنها لا تنضج نباتيًّا بعد القطف. والبعض الآخر يقطف بعد اكتمال نموه، ولكنه يستهلك قبل نضجه نباتيًّا، كالفلفل، فلا تلاحظ به الظاهرة. كما أن بعض الثمار تقطف بعد اكتمال نضجها، فتكون ظاهرة الكلايمكتريك قد حدثت بها قبل القطف، كما فى العنب، والتين، والفراولة.

جدول (٤-٣): أنواع الحاصلات البستانية الثمرية الكلايمكتيرية وغير الكلايمكتيرية.

الاسم العادى		الاسم العلمى
أولا: الثمار الكلايمكتيرية		
التفاح	**Apple**	*Malus pumila* **Mill.**
المشمس	**Apricot**	*Prunus armeniaca* **L.**
الكمثرى الآسيوية	**Asian Pear**	*Pyrus serotina* **Rehder**

تابع جدول (٤–٣).

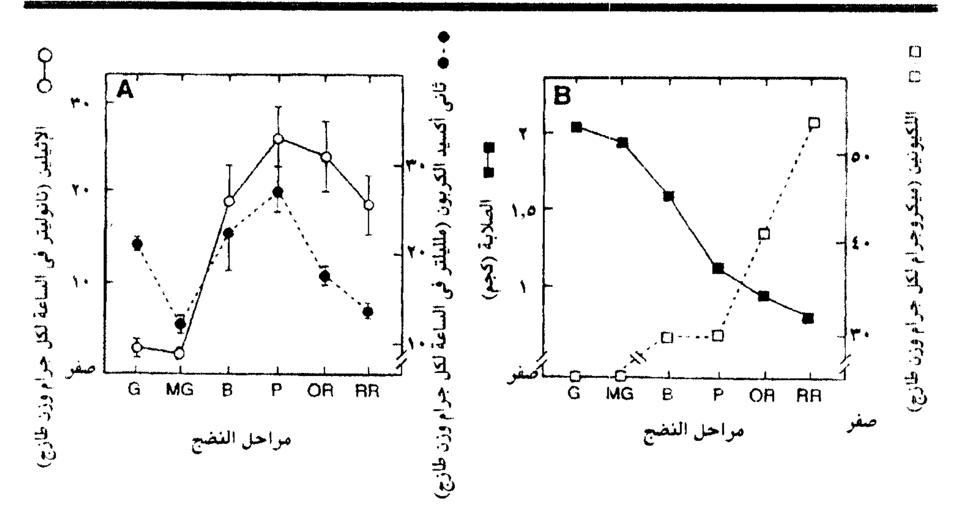
الاسم العلمى	الاسم العادى	
Annona squamosa × *cherimola*	Atemoya	
Persea americana Mill.	Avocado	الأفوكادو
Musa L.	Banana	الموز
Rollinia deliciosa Safford	Biriba	
Momordica charantia L.	Bitter melon	الشمام المر
Vaccinium angustifolium Ait.	Blueberry. Lowbush	
Vaccinium corymbosum L.	Blueberry. Highbush	
Vaccinium ashei Reade	Blueberry. Rabbiteye	
Arcocarpus altilis (Parkins) Fosb.	Bread fruit	ثمرة الخبز
Cucumis melo L. Cantalupensis group	Cantaloupe	الكنتالوب
Annona cherimola Mill.	Cherimoya	
Rollinia orthopetala A. DC.	Corossol sauvage	
Phoenix dactylifera L.	Dates	البلح
Durio zibethinus Murray	Durian	
Feijoa sellowiana O. Berg.	Feijoa	
Ficus carica L.	Fig	التين
Physalis peruviana L.	Goldenberry	
Psidium guajava L.	Guava	الجوافة
Psidium littorale var. *longipes* (O. Berg.) Fosb.	Guava, 'Purple Strawberry'	
Psidium littorale Raddi.	Gauava, 'Strawberry'	
Psidium littorale var. *littorale* Fosb	Guava, 'Yellow Strawberry'	
Cucumis melo L. Inodorus group	Honey Dew	شهد العسل
Ziziphus sativa Mill	Jujube	
Actinidia deliciosa (A Chev) C. F. Liang et A. R. Ferguson var. *deliciosa*	Kiwifruit, Chinese gooseberry	

تابع جدول (٤-٣).

الاسم العادى		الاسم العلمى
	Mammee apple	*Mammea americana* L.
المانجو	Mango, common	*Mangfera indica* L.
	Mango, African	*Irvingia gabonensis* Baillon & Irvingiaceae
لفت الزيت	Oil rape	*Brassica napus* L.
	Papaw	*Asimina triloba* (L.) Dunal.
الباباظ	Papaya	*Carica papaya* L.
	Passion fruit	*Passiflora edulis* Sims
الخوخ	Peach	*Prunus persica* (L.) Batsch
الكمثرى الأوروبية	Pear, European	*Pyrus communis* L.
	Pear, Chinese	*Pyrus bretschneideri* R.
الكاكى	Persimmon	*Diospyros kaki* L.
البرقوق	Plum	*Prunus americana* Marsh.
الراسبرى	Rasberry	*Rubus idaeus* L.
السابوتة	Sapote	*Casimiroa edulis* Llave
	Saskatoon	*Amelanchier alnifolia Nutt.*
	Soursop	*Annona muricata* L.
	Sweetsop, sugar apple	*Annona squamosa* L.
الطماطم	Tomato	*Solanum lycopersicum* L.
ثانيًا: الثمار غير الكلايمكتيرية		
	Asian pear	*Pyrus serotina* Rehder
البلاكبرى	Blackberry	*Rubus* L.
الكاكاو	Cacao	*Theobroma cacao* L.
	Cactus pear	*Opuntia amyclaea* Tenore
	Carambola	*Averrhoa carambola* L.
الكاجو	Cashew	*Anacardium occidentale* L.
الكريز الحمضى	Chery, sour	*Prunus cerasus* L.

تابع جدول (٤–٣).

الاسم العلمى	الاسم العادى	
Prunus avium L.	Cherry, sweet	الكريز الحلو
Cucumis sativus L.	Cucumber	الخيار
Vitus vinifera L.	Grape	العنب
Citrus paradisi Macf.	Grape fruit	الجريب فروت
Syzygium cumini (L.) Skeels	Java plum	
Citrus jambhiri Lush.	Lemon	الليمون الأضاليا
Litchi chinensis Sonn.	Litchi (lychee)	
Eriobotrya japonica Lindl.	Loquat	
Syzygium malaccense (L.) Merrill & Perry	Mountain apple	
Olea europaea L.	Olive	الزيتون
Cirus sinensis (L.) Osb.	Orange	البرتقال
Capsicum annuum L.	Pepper	الفلفل
Ananas comosus (L.) Merr.	Pineapple	الأناناس
Selenicereus megalanthus Scum. Ex. Vaupel	Pitaya, yellow	
Punica granatum L.	Pomegranate	الرمان
Nephelium lappaceum L.	Rambutan	
Rubus idaeus L.	Rasberry	الراسبرى
Syzygium jambos (L.) Alston	Rose apple	
Citrus reticulata Blanco	Satsuma nandarin	يوسفى تزوما
Chysophyllum cainito L.	Star apple	
Fragaria ×ananassa Duch.	Strawberry	الفراولة
Fragaria vesca L.	Strawberry, wild	
Eugenia uniflora L.	Surinan cherry	
Cyphomandra betacea (Cav.) Sendtu	Tamarillo	شجرة الطماطم
Citrullus lanatus (Thunb.) Mansf.	Watermelon	البطيخ



شكل (٤–٢): التغيرات التى تحدث فى ثمار الطماطم من قبل اكتمال تكوينها وحتى اكتمال نضجها فى كل من (A) إنتاج الإثيلين ومعدل التنفس (إنتاج ثانى أكسيد الكربون)، و (B) الصلابة ومحتوى الليكوبين.

طرق قياس معدل التنفس

بخلاف الماء الذى يفقد أثناء التنفس – والذى يتوفر فى الأنسجة الطازجة بكميات كبيرة – فإن معدل التنفس يمكن قياسه بتقدير معدل استهلاك أى من المواد الأولية المستعملة فى التنفس أو معدل فقد الأكسجين، أو معدل إنتاج ثانى أكسيد الكربون، أو معدل إنتاج الطاقة. وأكثر الطرق شيوعًا هى تقدير معدل إنتاج ثانى أكسيد الكربون إما بنظام استاتيكى أو ديناميكى.

ففى النظام الاستاتيكى يوضع المنتج فى حيز غير منفذ للهواء وتؤخذ عينات من الهواء بعد أن يكون قد تراكم ثانى أكسيد الكربون بقدر كاف لتقديره بدقة بأى من الأجهزة المستخدمة لهذا الغرض (مثل الـ gas chromatograph، أو الـ infrared CO_2 analyzer). وإذا ما كان الحيز الذى يوضع فيه المنتج محكم الإغلاق، فإن ثانى أكسيد الكربون يجب أن يزداد تركيزه خطيًا مع الوقت. وبضرب التغير المشاهد فى التركيز فى

حجم الوعاء الذى يوضع فيه المنتج. وقسمة حاصل الضرب على وزن المنتج مضروبًا فى الوقت بين أخذ العينات، يحصل على معدل إنتاج الغاز.

أما فى النظام الديناميكى فإنه يمر تيار من الهواء (أو مخلوط من الغازات) خلال وعاء حفظ المنتج بمعدل معروف وثابت. يصل النظام إلى حالة من التوازن (> ٩٩,٣٪) فى نفس الوقت تقريبًا الذى يستغرقه مرور خمسة أمثال الحجم خلال الوعاء. ويقدر الفرق فى تركيز ثانى أكسيد الكربون بين الهواء الداخل والهواء الخارج بعد وصول النظام إلى حالة التوازن، وذلك بتقدير تركيز الغاز فى عينات تؤخذ من عند النقطتين. وبضرب الفرق فى التركيز فى معدل التدفق وقسمة حاصل الضرب على وزن المنتج المستعمل نحصل على معدل إنتاج الغاز (Saltveit ٢٠٠٤أ).

وتجدر الإشارة إلى أنه لتحويل معدل التنفس من ملليجرام (مجم) ثانى أكسيد كربون لكل كيلوجرام (كجم) من المنتج فى الساعة إلى ملليلتر (مل) من الغاز لكل كيلوجرام من المنتج فى الساعة يقسم التنفس – بالملليجرام – على ٢,٠ عند صفر°م. وعلى ١,٩ عند ١٠°م، وعلى ١,٨ عند ٢٠°م.

ولحساب إنتاج الطاقة يضرب إنتاج ثانى أكسيد الكربون – بالملليجرام لكل كيلوجرام من المنتج فى الساعة – فى ٢٢٠ للحصول على الوحدات الحرارية البريطانية BTUs لكل طن فى اليوم، أو فى ٦١ للحصول على كيلو كالورى لكل طن مترى فى اليوم.

تقسيم الحاصلات البستانية حسب معدل التنفس بعد الحصاد

تقسم الحاصلات البستانية إلى خمس مجاميع حسب معدل تنفس أنسجتها بعد الحصاد كما يلى (عن Kader وآخرين ١٩٨٥):

المجموعة	معدل التنفس عند ٥ م (مجم CO_2/كجم/ساعة)	المنتج
التنفس منخفض جدًا	< ٥	الخضر المجففة والتمر والنقل
التنفس منخفض	٥–١٠	البصل، والبطاطس، والتفاح، والموالح، والعنب، والكيوى
التنفس متوسط	١٠–٢٠	الكرنب، والجزر، والخس، والفلفل، والطماطم، والمشمش، و الموز، والكريز، والخوخ، والنكتارين، والكمثرى، والبروقوق، والتين.
التنفس مرتفع	٢٠–٤٠	الفراولة، والقنبيط، وفاصوليا الليما، والبلاكبرى، والراسبرى، والأفاكادو.
التنفس مرتفع جدًا	٤٠–٦٠	الخرشوف، والفاصوليا، وكرنب بروكسل، وزهور القطف
التنفس شديد الارتفاع	< ٦٠	الأسبرجس، والبروكولى، وعيش الغراب، والبسلة، والسبانخ، والذرة السكرية.

ويلاحظ من التقسيم السابق لمعدل التنفس فى الحاصلات البستانية أنه ينخفض كلما ازدادت درجة نضج الأنسجة فى الأعضاء النباتية التى يتم حصادها، سواء أكانت جذورًا، أم سيقانًا، أم أوراقًا، أم أزهارًا أم ثمارًا، أم بذورًا (عن Snowdon ١٩٩٠).

ونظرًا لتأثر معدل التنفس — بشدة — بدرجة الحرارة، فإن الخضروات تقسم حسب معدل تنفسها فى مختلف درجات الحرارة، كما يلى:

١– خضروات بطيئة فى معدل تنفسها (أقل من ١٠ مجم ثانى أكسيد كربون/كجم/ساعة عند ١٠ °م، أو أقل من ٤٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ٢٠ °م)، وتشمل: البطاطس، والبصل، والخيار.

٢- خضروات ذات معدل تنفس متوسط (١٠-٢٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ١٠°م، أو ٤٠-٨٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ٢٠°م) وتشمل: الفلفل، والجزر، والطماطم، والباذنجان.

٣- خضروات ذات معدل تنفس عال (٢٠-٤٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ١٠°م، أو ٨٠-١٢٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ٢٠°م). وتشمل: الفجل.

٤- خضرورات ذات معدل تنفس عال جدًا (أكثر من ٤٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ١٠°م، أو ١٢٠ مجم CO_2/كجم/ساعة عند ٢٠°م)، وتشمل: البصل الأخضر، والقنبيط، والبسلة، والشبت، والبقدونس، والقاوون، والبامية، وعيش الغراب (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤ أ).

ويعطى جدول (٤-٤): بيانًا تفصيليًا بمعدل تنفس الحاصلات البستانية (خضر وفاكهة وأعشاب) فى مختلف درجات الحرارة، وكذلك إنتاجها من الإثيلين.

جدول (٤-٤): معدل تنفس الحاصلات البستانية (خضر وفاكهة وأعشاب) فى مختلف درجات الحرارة، وكذلك معدل إنتاجها من الإثيلين (عن USDA ٢٠٠٤).

المحصول	حرارة التخزين (°م) (مجم ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة)						إنتاج الإثيلين (ميكروليتر إثيلين/كجم فى الساعة على الحرارة المبينة
	صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	
التفاح	٥	٨	١٧	٢٥	٣١	nd[1]	يتفاوت كثيرًا
المشمش	٦	nd	١٦	nd	٤٠	nd	< 0.1 (0°C)
الخرشوف	٣٠	٤٣	٧١	١١٠	١٩٣	nd	< 0.1
الأسبرجس[٢]	٦٠	١٠٥	٢١٥	٢٣٥	٢٧٠	nd	2.6 (20°C)
الأفوكادو	nd	٣٥	١٠٥	nd	١٩٠	nd	> 100 (ripe; 20°C)
الموز الناضج	nd	nd	٨٠	١٤٠[٣]	٢٨٠	nd	5.0 (15°C)
الريحان	٣٦	nd	٧١	nd	١٦٧	nd	منخفض جدًا
الفاصوليا الخضراء	٢٠	٣٤	٥٨	٩٢	١٣٠	nd	< 0.05 (5°C)
الفاصوليا طويلة القرون	٤٠	٤٦	٩٢	٢٠٢	٢٢٠	nd	< 0.50 (5°C)

تابع جدول (٤–٤).

المحصول	حرارة التخزين (°م) صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	إنتاج الإثيلين
	(مجم ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة)						(ميكروليتر إثيلين/كجم فى الساعة على الحرارة المبينة)
البنجر	٥	١١	١٨	٣١	٦٠	nd	< 0.1 (0°C)
البلاكيرى	١٩	٣٦	٦٢	٧٥	١١٥	nd	0.1 to 2.0 يتباين
البلوبرى	٦	١١	٢٩	٤٨	٧٠	١٠١	0.5 to 10.0 يتباين
البوك شو	٦	١١	٢٠	٣٩	٥٦	nd	< 0.2
البروكولى	٢١	٣٤	٨١	١٧٠	٣٠٠	nd	< 0.1 (20°C)
كرنب بروكسل	٤٠	٧٠	١٤٧	٢٠٠	٢٧٦	nd	< 0.25 (7.5°C)
الكرنب	٥	١١	١٨	٢٨	٤٢	٦٢	< 0.1 (20°C)
الجزر	١٥	٢٠	٣١	٤٠	٢٥	nd	< 0.1 (20°C)
الكاسافا	nd	nd	nd	nd	nd	٤٠	1.7 (25°C)
القنبيط	١٧	٢١	٣٤	٤٦	٧٩	٩٢	< 1.0 (20°C)
السيليرياك	٧	١٣	٢٣	٣٥	٤٥	nd	< 0.1 (20°C)
الكرفس	١٥	٢٠	٣١	٤٠	٧١	nd	< 0.1 (20°C)
الكريز الحلو	٨	٢٢	٢٨	٤٦	٦٥	nd	< 0.1 (0°C)
الشيكوريا	٣	٦	١٣	٢١	٣٧	nd	< 0.1 (0°C)
الكرنب الصينى	١٠	١٢	١٨	٢٦	٣٩	nd	< 0.1 (20°C)
الشيف الصينى	٥٤	nd	٩٩	nd	٤٣٢	nd	منخفض جدًا
الشيف	٢٢	nd	١١٠	nd	٥٤٠	nd	منخفض جدًا
جوز الهند	nd	nd	nd	nd	nd	٥٠	منخفض جدًا
الكسبرة	٢٢	٣٠	nd	nd	nd	nd	منخفض جدًا
الخيار	nd	nd	٢٦	٢٩	٣١	٣٧	0.6 (20°C)
الشبت	٢٢	nd	١٠٣	٣٢٤	nd	nd	< 0.1 (20°C)
الباذنجان العادى	nd	nd	nd	٦٩°	nd	nd	0.4 (12.5°C)
الباذنجان اليابانى الطويل	nd	nd	nd	١٣١°	nd	nd	0.4 (12.5°C)
الهندباء	٤٥	٥٢	٧٣	١٠٠	١٣٣	٢٠٠	منخفض جدًا
الفينوكيا	١٩`	nd	nd	nd	٣٢	nd	4.3 (20°C)
التين	٦	١٣	٢١	nd	٥٠	nd	0.6 (0°C)

تابع جدول (٤–٤).

المحصول	حرارة التخزين (°م) صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	إنتاج الإثيلين
	(مجم ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة)						(ميكروليتر إثيلين/كجم فى الساعة على الحرارة المبينة)
الثوم (أبصال)	٨	١٦	٢٤	٢٢	٢٠	nd	منخفض جدًا
الثوم المقشر	٢٤	٣٥	٨٥	nd	nd	nd	منخفض جدًا
الزنجبيل	nd	nd	nd	nd	٦[٣]	nd	منخفض جدًا
الجنسنج	٦	nd	١٥	٣٣	nd	٩٥	منخفض جدًا
العنب الأمريكى	٣	٥	٨	١٦	٣٣	٣٩	< 0.1 (20°C)
العنب المسكات	١٠[١]	١٣	nd	nd	٥١	nd	< 0.1 (20°C)
عنب المائدة	٣	٧	١٣	nd	٢٧	nd	< 0.1 (20°C)
الجريب فروت	nd	nd	nd	< 10	nd	nd	< 0.1 (20°C)
الجوافة	nd	nd	٣٤	nd	٧٤	nd	10 (20°C)
شهد العسل	nd	٨	١٤	٢٤	٣٠	٣٣	منخفض جدًا
فجل الحصان	٨	١٤	٢٥	٣٢	٤٠	nd	< 1.0
الطرطوفة	١٠	١٢	١٩	٥٠	nd	nd	لم يقدر
الكيوى الناضج	٣	٦	١٢	nd	١٩	nd	75
كرنب أبو ركبة	١٠	١٦	٣١	٤٦	nd	nd	< 0.1 (20°C)
الكرات	١٥	٢٥	٦٠	٩٦	١١٠	١١٥	< 0.1
الليمون الأضاليا	nd	nd	١١	١٩	٢٤	nd	< 0.1 (20°C)
خس الرؤوس	١٢	١٧	٣١	٣٩	٥٦	٨٢	منخفض جدًا
خس الأوراق	٢٣	٣٠	٣٩	٦٣	١٠١	١٤٧	منخفض جدًا
الليمون البنزهير	nd	nd	< 10	nd	nd	nd	< 0.1 (20°C)
اللوف	١٤	٢٧	٣٦	٦٣	٧٩	nd	< 0.1 (20°C)
اليوسفى	nd	٦	٨	١٦	٢٥	nd	< 0.1 (20°C)
المانجو	nd	١٦	٣٥	٥٨	١١٣	nd	1.5 (20°C)
المردقوش	٢٨	nd	٦٨	nd	nd	nd	منخفض جدًا
النعناع	٢٠	nd	٧٦	nd	٢٥٢	nd	منخفض جدًا

تابع جدول (٤–٤).

المحصول	حرارة التخزين (ْم) صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	إنتاج الإثيلين (ميكروليتر إثيلين/كجم فى الساعة على الحرارة المبينة)
	(مجم ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة)						
عيش الغراب	٣٥	٧٠	٩٧	nd	٢٦٤	nd	< 0.1 (20°C)
النكتارين الناضج	٥	nd	٢٠	nd	٨٧	nd	5.0 (0°C)
الكنتالوب الشبكى	٦	١٠	١٥	٣٧	٥٥	٦٧	55.0
البامية	٢١°	٤٠	٩١	١٤٦	٢٦١	٣٤٥	0.5
الزيتون	nd	١٥	٢٨	nd	٦٠	nd	< 0.5 (20°C)
البصل	٣	٥	٧	٧	٨	nd	< 0.1 (20°C)
البرتقال	٤	٦	٨	١٨	٢٨	nd	< 0.1(20°C)
الباباظ الناضج	nd	٥	nd	١٩	٨٠	nd	8.0
البقدونس	٣٠	٦٠	١١٤	١٥٠	١٩٩	٢٧٤	منخفض جدًا
الجزر الأبيض	١٢	١٣	٢٢	٣٧	nd	nd	< 0.1 (20°C)
البسلة الخضراء	٣٨	٦٤	٨٦	١٧٥	٢٧١	٣١٣	< 0.1 (20°C)
البسلة السكرية	٣٩	٦٤	٨٩	١٧٦	٢٧٣	nd	< 0.1 (20°C)
الخوخ الناضج	٥	nd	٢٠	nd	٨٧	nd	5.0 (0°C)
الفلفل	nd	٧	١٢	٢٧	٣٤	nd	< 0.2 (20°C)
الكاكى	٦	nd	nd	nd	٢٢	nd	< 0.5 (20°C)
الأناناس	nd	٢	٦	١٣	٢٤	nd	< 1.0 (20°C)
البرقوق الناضج	٣	nd	١٠	nd	٢٠	nd	< 5.0 (0°C)
الرمان	nd	٦	١٢	nd	٢٤	nd	< 0.1 (10°C)
البطاطس المعالجة	nd	١٢	١٦	١٧	٢٢	nd	< 0.1 (20°C)
الشيكوريا	٨	١٣[١٠]	٢٣[١١]	nd	nd	٤٥	0.3 (6°C)
الفجل	١٦	٢٠	٣٤	٧٤	١٣٠	١٧٢	منخفض جدًا
الراسبرى	١٧`	٢٣	٣٥	٤٢	١٢٥	nd	≤ 12.0 (20°C)
الروبارب	١١	١٥	٢٥	٤٠	٤٩	nd	لم يقدر
الروتاباجا	٥	١٠	١٤	٢٦	٣٧	nd	< 0.1 (20°C)

تابع جدول (٤–٤).

المحصول	حرارة التخزين (°م) صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	إنتاج الإثيلين (ميكروليتر إثيلين/كجم فى الساعة على الحرارة المبينة)
	(مجم ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة)						
المريمية	٣٦	nd	١٠٣	nd	١٥٧	nd	منخفض جدًا
الجرجير	٤٢	١١٣	nd	nd	nd	nd	منخفض جدًا
السلسفيل	٢٥	٤٣	٤٩	nd	١٩٣	nd	منخفض جدًا
السبوتة	nd	nd	nd	nd	nd	nd	> 100 (20°C)
قرون لوبيا خضراء	٢٤[٦]	٢٥	nd	nd	١٤٨	nd	لم يقدر
بذور لوبيا خضراء	٢٩[٦]	nd	nd	nd	١٢٦	nd	لم يقدر
السبانخ	٢١	٤٥	١١٠	١٧٩	٢٣٠	nd	منخفض جدًا
نبت بذور فاصوليا المنج	٢٣	٤٢	٩٦	nd	nd	nd	< 0.1 (10°C)
كوسة	٢٥	٣٢	٦٧	١٥٣	١٦٤	nd	< 1.0 (20°C)
قرع الشتاء	nd	nd	٩٩[٥]	nd	nd	nd	منخفض جدًا
الفراولة	١٦	nd	٧٥	nd	١٥٠	nd	< 0.1 (20°C)
الذرة السكرية	٤١	٦٣	١٠٥	١٥٩	٢٦١	٣٥٩	منخفض جدًا
السق السويسرى	١٩[٦]	nd	nd	nd	٢٩	nd	0.14 (20°C)
الزعتر	٣٨	nd	٨٢	nd	٢٠٣	nd	منخفض جدًا
الحرنكش (خضراء مكتملة النضج)	nd	١٣	١٦	nd	٣٢	nd	10.0 (20°C)
الطماطم	nd	nd	١٥	٢٢	٣٥	٤٣	10.0 (20°C)
الكمأة	٢٨	٣٥	٤٥	nd	nd	nd	منخفض جدًا
اللفت	٨	١٠	١٦	٢٣	٢٥	nd	منخفض جدًا
الكرسون المائى	٢٢	٥٠	١١٠	١٧٥	٣٢٢	٣٧٧	< 1.0 (20°C)
البطيخ	nd	٤	٨	nd	٢١	nd	< 1.0 (20°C)

(١) nd = لم تقدر، (٢) بعد يوم من الحصاد. (٣) على ١٣°م، (٤) على ٢٢°م، (٥) على ١٢,٥°م، (٦) على ٢°م، (٧) منخفض جدًا يعنى أقل من ٠,٠٥ ميكروليتر/كجم فى الساعة، (٨) على ٩°م، (٩) على ١°م، (١٠) على ٦°م. (١١) على ٧,٥°م.

تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر

يبين جدول (٤–٥) كمية الطاقة التى تنطلق من مختلف الخضروات عند تخزينها فى درجات حرارة مختلفة. وكما أسلفنا .. فإن كمية الطاقة المنطلقة تتحدد بكل من معدل التنفس الابتدائى للمنتج. والـ Q_{10} المحسوبة لتنفسه فى مختلف درجات الحرارة. ويستفاد من تلك البيانات فى حساب احتياجات التبريد للخضر المخزنة.

ويوضح شكل (٤–٣) تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة – نتيجة للتنفس – فى بعض الخضر والفاكهة.

جدول (٤–٥): كمية الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر الطازجة عند تخزينها فى درجات حرارة مختلفة (عن **Lorenz & Maynard** ١٩٨٠).

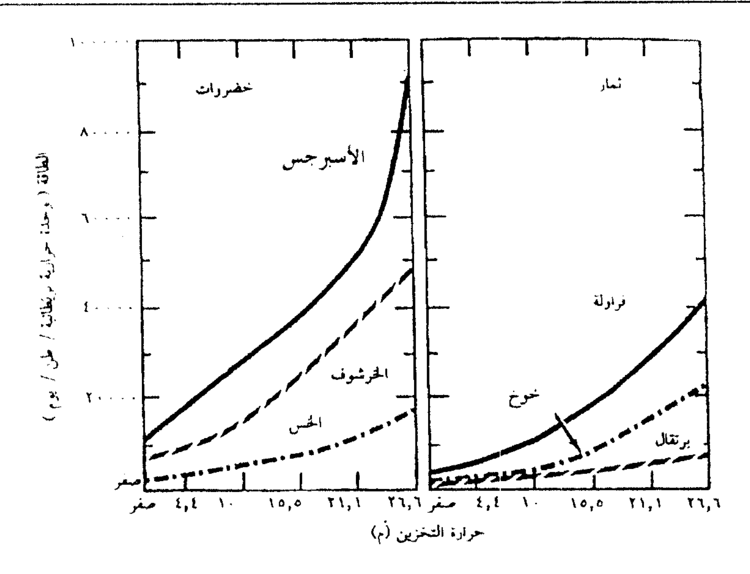
الخضر	الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/طن/يوم) فى حرارة (مْ)				
	صفر	٤,٤	١٥,٥	٢٠–٢١,١	٢٥–٢٦,٦
الخرشوف	٥,٥–٩,٩	٧,٧–١٣,٢	٢٠,٩–٣١,٩	٣٠,١–٥١,٣	٣٣,٩–٦٦,٢
الأسبرجس	٦,٢–١٣,٢	١٣,٠–٢٣,١	٢٥,٥–٥١,٥	٣٨,٣–٥٩,٢	٨١,٨–١٠٤,٧
فاصوليا الليما (القرون)	٢,٣–٦,٦	٤,٣–٧,٩	٢٢,٠–٢٧,٤	٢٩,٢–٣٩,٤	—
فاصوليا الليما (البذور الخضراء)	٣,٩–٧,٧	٦,٤–١٣,٤	—	٤٦,٥–٥٨,٤	—
الفاصوليا الخضراء	٥,٥–٩,٠	٩,٢–١١,٤	٣٢,١–٤٤,١	٤٥,٤–٥٣,٠	—
البنجر (بدون عروش)	٢,٧	٤,١	٧,٢	—	—
البروكولى	٤,١–٤,٧	٧,٦–٣٥,٢	٣٨,٢–٧٤,٨	٦١,٢–٧٥,٠	١٢٣,٢–١٩٣,٦
كرنب بروكسل	٢,٢–٦,٦	٤,٨–١٠,٦	١٤,١–٢٩,٩	١٨,٦–٣٧,٨	—
الكرنب	١,٠–١,٤	١,٧–٢,٧	٤,١–٥,٧	٦,١–١٠,٨	١٠,٧–١٤,٠
الجزر	٢,١–٤,٥	٢,٣–٥,٨	٥,٧–١١,٨	١٠,١–٢٠,٩	—
القنبيط	٣,٦–٤,٢	٤,٢–٤,٨	٩,٤–١٠,٨	١٦,٥–١٨,٩	١٨,٥–٣٠,٨
الكرفس	١,٦	٢,٤	٨,٢	١٤,٢	—

تابع جدول (٤–٥):

الخضر	الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/طن/يوم) فى حرارة (مْ)				
	صفر	٤,٤	١٥,٥	٢١,١–٢٠	٢٦,٦–٢٥
الذرة السكرية	١١,٣–٦,٦	١٨,٣–٩,٤	٣٨,٤–٣٣,٣	٦٨,٤–٥٩,٠	٩٥,٨–٦٢,٠
الخيار	—	—	٧,٣–٣,٣	١٠,٦–٣,١	١٢,١–٤,٢
الثوم	٣,١–٠,٩	٧,٣–٢,٠	٦,٤–٣,١	٥,٥–٢,٩	—
فجل الحصان	١,٨	٣,١	٧,٢	٩,٨	—
كرنب أبو ركبة	٢,٢	٣,٦	١٠,٨	—	—
الكرات أبو شوشة	٧,٣–٢,١	٦,٤–٤,٣	٢٥,٧–١٨,٢	—	٢٦,١–٢٣,٦
خس الرؤوس	٣,٧–١,٣	٤,٤–٢,٩	٩,٩–٧,٠	١٣,٢–١١,٢	٢٠,١–١٦,١
الخس الورقى	٦,٠–٤,٢	٧,٦–٥,٣	١٦,٣–١١,٣	٢٦,١–١٨,١	٣٨,٠–٢٦,٤
الخس الرومين	—	٥,١–٤,٠	١٠,٩–٨,٦	١٦,٩–١٣,٣	٢٦,٧–٢١,٠
القاوون الشبكى	١,٣–١,١	٢,٢–١,٩	٨,٥–٧,٤	١٤,٢–٩,٨	١٥,٧–١٣,٧
شهد العسل	—	١,١–٠,٧	٣,٥–٢,٦	٥,٩–٤,٤	٧,٦–٥,٨
البطيخ	—	٠,٩–٠,٧	—	٥,٥–٣,٨	—
عيش الغراب	٩,٦–٦,٢	١٥,٦	—	٦٩,٦–٥٨,٠	—
البامية	—	١٢,٩–١١,٦	٣٣,٧–٣٠,٤	٦٠,٣–٥٤,٥	٧٩,٧–٧٢,١
البصل (الأبصال)	٠,٧–٠,٦	٠,٨–٠,٧	٢,٥–٢,٣	٤,٢–٣,١	٦,٤–٦,٠
البصل الأخضر	٤,٩–٢,٣	١٥,٠–٣,٨	٢١,٤–١٤,٥	٣٤,٣–١٧,٣	٤٦,١–٢١,٥
الجزر الأبيض	٣,٤–٢,٦	٣,٩–١,٩	٩,٤–٧,١	—	—
البسلة (القرون)	١٠,٣–٦,٧	١٦,٨–١٢,١	٤٤,٥–٣٩,٣	٧٩,٥–٥٤٠	٨٢,٩–٧٥,٥
البسلة (البذور الخضراء)	١٦,٦–١٠,٤	٢١,٤–١٧,٤	—	١٢٢,٤–٧٦,٧	—
الفلفل الحلو	—	٤,٧–١,١	١٢,٦–٤,٤	١٤,٣–٥,٠	١٦,٣–٧,٩
البطاطس غير المكتملة النمو	—	٢,٦	٦,٨–٢,٩	٩,٩–٤,٠	—
البطاطس المكتملة النمو	—	١,٩–٠,٦	٢,٦–١,٣	٣,٥–١,٨	—
الفجل (بأوراق)	٣,٨–٣,٢	٤,٦–٤,٢	١٧,١–١٥,٤	٣٠,٠–٢٧,٣	٤٢,٤–٣٤,٨
الفجل (بدون أوراق)	٢,١–٠,٧	٢,٩–١,٣	٩,٣–٤,٩	١٢,٧–٩,٨	١٩,٥–١٣,٣

تابع جدول (٤–٥).

الخضر	الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/طن/يوم) فى حرارة (°م)				
	صفر	٤,٤	١٥,٥	٢٠–٢١,١	٢٥–٢٦,٦
الروبارب	٢,٩–١,٨	٤,٠–٢,٤	١٠,٦–٦,٨	١٢,٥–٨,٨	—
السبانخ	٤,٩–٤,٢	١٢,٧–٧,٦	٤٩,٢–٢٩,٥	٦٣,٢–٣٧,٩	—
الكوسة (بترنط)	—	—	—	—	٢٦,٨–١٤,٥
الكوسة	٢,٨–٢,٦	٤,١–٣,١	٢٠,٠–١٦,٥	٢١,٤–١٨,٧	—
البطاطا غير المعالجة	—	—	٦,٣	—	١٦,١–١١,٩
البطاطا المعالجة	—	—	٥,٣–٤,٣	—	—
الطماطم الخضراء المكتملة التكوين	—	١,٨–١,١	٦,٢–٣,٦	٩,١–٦,٢	١١,٢–٧,٦
الطماطم الحمراء	—	١,٣	٦,٤–٥,٣	٩,٧–٥,٣	١١,٥–٦,٦
اللفت	١,٩	٢,٢–٢,١	٥,٣–٤,٧	٥,٥–٥,٣	—
الكرسون المائى	٥,٨–٤,٣	١٠,٧–٩,٦	٤٥,٠–٣٦,٤	—	—



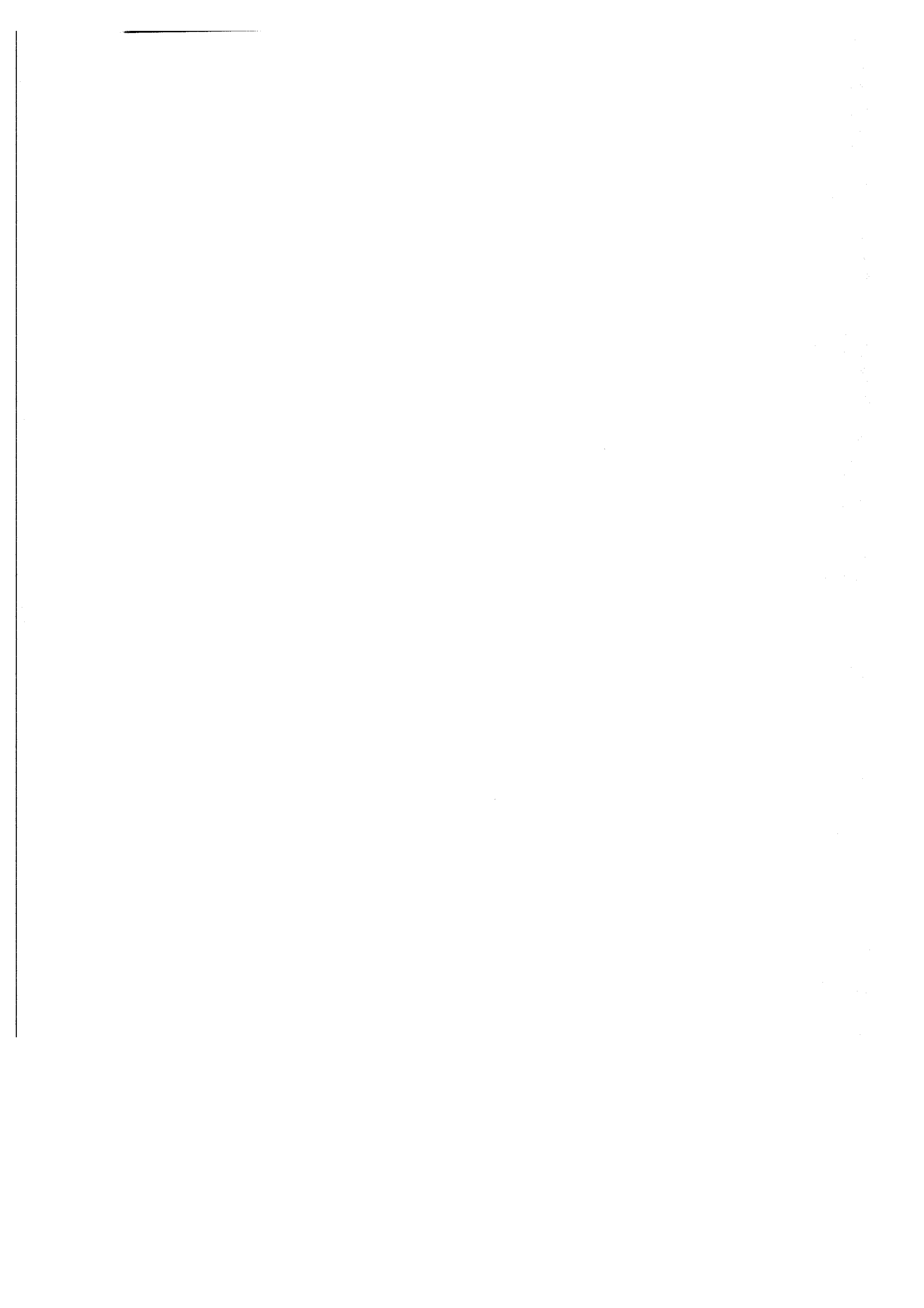
شكل (٤–٣): تأثير درجة حرارة التخزين على كمية الطاقة المنطلقة – نتيجة للتنفس – فى بعض الخضر والفاكهة.

تأثير مدة التخزين على معدل انطلاق الطاقة من مختلف الخضر

يتحدد معدل تنفس الخضر بعمرها الفسيولوجي. الأمر الذى يتحدد – بدوره – بكل من درجة حرارة التخزين وفترة التخزين – كما أسلفنا – حيث يزداد العمر الفسيولوجي للخضر بارتفاع درجة حرارة التخزين، أو بزيادة فترة التخزين، أو بكليهما. ومع تقدم العمر الفسيولوجي .. يتناقص معدل التنفس – عند كل درجة حرارة – بزيادة فترة التخزين. وتتناقص معه كمية الطاقة المنطلقة من الخضر. كما هو مبين فى جدول (٤–٦) بالنسبة لكل من الأسبرجس، وخس الرؤوس، والبطاطس (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

جدول (٤–٦): تأثير مدة التخزين على الطاقة المنطلقة من مختلف الخضر فى درجات الحرارة المختلفة.

الخضر ومدة	كمية الطاقة المنطلقة (١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/طن/يوم) فى حرارة (مْ)					
التخزين باليوم	صفر	٢,٢	٥	١٠	١٥	٢٠
الأسبرجس						
١	١٣,٢	١٥.٨	٢٣,١	٤٧,١	٥١,١	٥٩,٢
٢	١٠,١	١٢.٨	١٦,٩	٣١,٠	٣٩,٦	٤٦,٤
٣	٥,٦	١١,٠	١٤,٣	٢٦,٠	٣٤,٨	٤٠,٩
٤	٧,٩	٩.٧	١٢,٥	٢١,٨	٣١,٢	٣٨,٣
٦	—	—	١١,٧	١٧,٢	٢٥,٥	—
٨	٧,٠	٧.٥	١٣,٠	١٥,٤	—	—
خس الرؤوس						
١	٣,٧	—	٤,٤	٨,٨	٩,٠	١٣,٢
٥	٢,٠	—	٢,٩	٥,٥	٨,٦	١٢,٣
البطاطس						
٢	—	—	١,٣	٢,٢	٢,٦	٣,٥
٦	—	—	١,٨	١,٨	١,٨	٢,٤
١٠	—	—	١,٥	١,٥	١,٥	١,٨



الفصل الخامس

الإثيلين

تمثيل الإثيلين

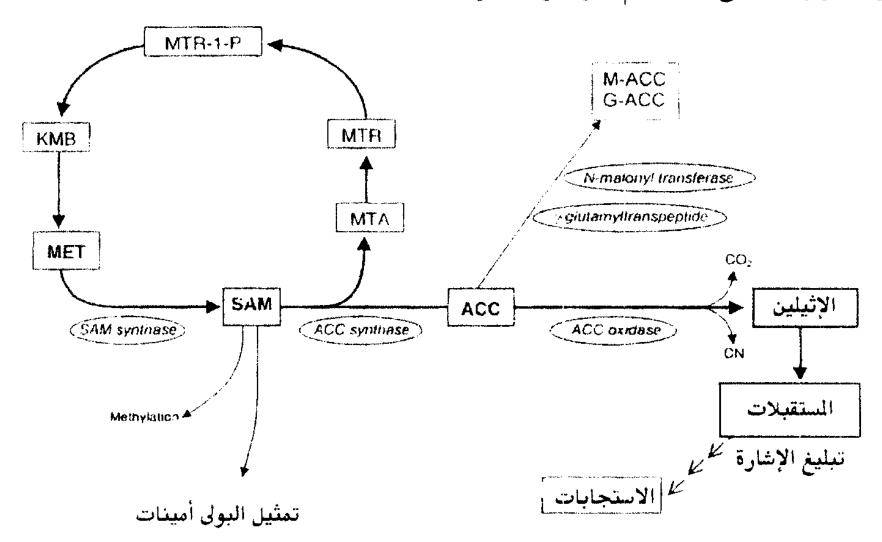
ينتج الإثيلين من المثيونين methionine من خلال مسار أيضى يتضمن المركبان S-adenosyl-methionine (اختصارًا : SAM)، و 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (اختصارًا : ACC) (شكل ٥-١). ويعتقد أن تحول SAM إلى ACC بواسطة الإنزيم ACC synthase هى الخطوة المحددة لمعدل تمثيل الإثيلين. هذا إلا إنه يمكن فى النباتات الراقية إبعاد الـ ACC من المسار الأيضى باتحاده مع مركبات أخرى لتكوين malonyl ACC أو glutamyl ACC (Wills وآخرون ١٩٩٨).

يمكن للإثيلين أن يؤثر فى تمثيله ذاته بالتأثير سلبًا أو إيجابًا فى تفعيل بعض الجينات التى تشفر لجزء من مساره الأيضى. ويعد الإثيلين محفز ذاتى auto-catalytic حينما يُحفِّز تمثيله ذاته، كما يعد مثبط ذاتى auto-inhibitory حينما يوقف الاستمرار فى التمثيل. وغالبًا ما يكون الإثيلين مُثبطًا ذاتيًّا فى الأنسجة الخضراء والأنسجة التكاثرية غير المكتملة التكوين، بينما يكون محفِّزًا ذاتيًّا فى الأنسجة التكاثرية المكتملة التكوين مثل الأزهار والثمار.

يلزم توفر الأكسجين لأجل أكسدة الـ ACC إلى ACO الأمر الذى يُحفَّز فى وجود تركيزات منخفضة من ثانى أكسيد الكربون، ويُثبَّط فى التركيزات المرتفعة، وخاصة إذا كانت الاستجابة من نوع التحفيز الذاتى. ويعتقد أن الإثيلين الذى ينتج بفعل الجروح أو التعرض للشدِّ يحفز نشاط الـ ACS. هذا .. بينما يحفز النضج — بعد بداية الكلايمكتريك — الـ ACO (Baldwin ٢٠٠٤).

تؤدى إضافة الـ ACC إلى الثمار المكتملة النمو الكلايمكتيرية — قبل نضجها — إلى إحداث زيادة صغيرة — فقط — فى إنتاجها للإثيلين؛ بما يعنى أن إنزيمًا آخر (الإنزيم

المكون للإثيلين — ethylene forming enzyme أو ACC oxidase) يلزم لتحويل الـ ACC إلى إثيلين، ويعد الإنزيم ACC oxidase حساسًا للأكسجين. ومن بين العوامل التى تؤثر فى نشاط الإنزيم ACC synthase درجة نضج الثمار، والشيخوخة. والأوكسين، والأضرار الفيزيائية. وأضرار البرودة. يتطلب هذا الإنزيم المركب pyridoxal phosphate ليكون فى أقصى نشاطه، ويثبط — بشدة — بالمركب aminooxyacetic acid (اختصارًا: AOA والـ rhizobitoxine، ونظيره -L-2-amino-4-(2-aminoethoxy)-trans 3-butenoic acid (اختصارًا: AVG)، وجميعها تعد مثبطة للإنزيمات التى تعتمد على الـ pyridoxal phosphate. ويثبط نشاط الـ ACC oxidase بالظروف اللاهوائية، وبالحرارة الأعلى عن ٣٥°م، وبأيون الكوبالت.



شكل (٥-١): مسارات تمثيل الإثيلين وصلته بالمسارات الأخرى (عن Watkins ٢٠٠٢). أسماء الإنزيمات بحروف مائلة، أما الاختصارات فهى لأسماء مركبات، كما يلى:

MET, methionine; SAM, S-adenosylmethionine; ACC, 1-aminocyclopropane carboxylic acid; MTA, 5′-methylthioadenosine; MTR, 5′-methylthioribose; MTR-IP, 5′-methylthioribose-1-phosphate; KMB, 2-keto-4-methylthiobutyriac acid; M-ACC, 1-(malonylamino) cyclopropane-1-carboxylic acid; G-ACC, 1(γ-L-glutamylamino)cyclopropane-1-carboxylic acid.

هذا .. ويمكن أن تنتج كميات صغيرة من الإثيلين من أكسدة الدهون.

ولقد اقُترِح وجود نظامين لتنظيم تمثيل الإثيلين. يتهيأ النظام الأول للعمل ويتحكم فيه عاملاً غير معروف ربما يكون له دورًا فى تطور حالة الشيخوخة. وهذا النظام رقم ١ هو الذى يقدح أو يطلق النظام رقم ٢، الذى يكون مسئولاً – أثناء نضج الثمار الكلايمكتيرية – عن إنتاج الكيمات الكبيرة من الإثيلين التى تكون ضرورية لاستكمال عملية النضج. ويعد النظام رقم ٢ ذاتى الاستمرار autocatalytic؛ حيث يؤدى إنتاج الثمار للإثيلين إلى دفعها لإنتاج المزيد منه. ولا تمتلك الثمار غير الكلايمكتيرية النظام رقم ٢، كما أن معاملة الثمار الكلايمكتيرية بالإثيلين يلغى أى أثر للنظام رقم ١ فيها.

وكما هو الحال فى الهرمونات النباتية الأخرى، فإنه يُعتقد بأن الإثيلين يتحد مع مستقبل أو مستقبلات خاصة لتكوين معقد هو الذى يشحذ عملية النضج. ويمكن التأثير فى فعل الإثيلين بالتحكم فى كمية المستقبلات، أو بمنع اتحاد الإثيلين معها.

إن نظام التغيرات فى معدل إنتاج الإثيلين وتركيزه الداخلى بالثمار – وعلاقة ذلك ببدء النضج يختلف باختلاف النوع المحصولى للثمار الكلايمكتيرية. ففى أحد النظم (كما فى الموز والطماطم وكنتالوب شهد العسل على سبيل المثال) يرتفع تركيز الإثيلين قبل بدء النضج، وهو ما يقابل الزيادة الابتدائية فى التنفس. وفى نظام ثانٍ (كما فى التفاح، والمانجو، والأفوكادو على سبيل المثال) لا يرتفع إنتاج الإثيلين قبل حدوث زيادة فى معدل التنفس. وفى كنتالوب شهد العسل يزداد التركيز الداخلى للإثيلين من ٠,٠٤ حجم فى المليون (μl/l) إلى ٣٠٠ حجم فى المليون، وهو التركيز الذى تبدأ عنده تحولات النضج.

ويعنى تواجد تركيز منخفض من الإثيلين فى الثمار غير الناضجة، واعتماد النضج على النظام رقم ٢ فى إنتاج الإثيلين أن المعاملات التى تمنع الإثيلين من الوصول إلى تركيز محفز للنضج يجب أن تؤخر النضج. وقد أمكن – بالفعل – تأخير النضج فى ثمار الموز الخضراء لمدة ١٨٠ يومًا على ٢٠°م عندما كانت الثمار تهوى باستمرار بهواء

يتكون من ٥٪ ثانى أكسيد كربون + ٣٪ أكسجين + ٩٢٪ نيتروجين (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وتنتج النباتات الإثيلين خلال مرحلة النمو الخضرى النشط، وعند نضج الثمار الكلايمكتيرية، واستجابة لعوامل الشدّ البيئى (Wheeler وآخرون ٢٠٠٤).

وما أن يتكون الإثيلين فإنه يمكن أن يتحلل إلى ماء وثانى أكسيد كربون، وأول أكسيد كربون، وفورمالدهيد. وعندما يتحد الإثيلين بالأكسجين فإنه يمكن أن ينتج أول أكسيد الكربون وإيثان ethane، وبروبيلين propylene، وأسيتالدهيد، وبروبانول propanol، وبيوتانال butanal، وأيدروجين، وأكسيد الإثيلين، و dioxyketene (Baldwin ٢٠٠٤).

ومزيد من التفاصيل حول بيولوجى الإثيلين فى النباتات يراجع العددين الأول والثانى (كاملين) من المجلد ١٧٥ لعام ٢٠٠٨ من دورية Plant Scince.

مصادر الإثيلين

تُسهم عديد من المصادر الحية وغير الحية فى تواجد الغاز فى الهواء المحيط بالمنتجات بعد الحصاد. وتعد عملية النضج والأنسجة المصابة بالأمراض من المصادر الرئيسية للغاز، بالإضافة إلى الآليات التى تعتمد على الوقود المحترق (مثل البروبين) فى تشغيلها (Saltveit ٢٠٠٤ب).

ومن المصادر الأخرى الهامة للإثيلين فى المخازن: البلاستيك، واللمبات الفلورسنتية، والدخان.

معدل إنتاج الخضر والفاكهة للإثيلين

تتباين منتجات الخضر والفاكهة — كثيرًا — فى معدل إنتاجها لغاز الإثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها كما هو مبين فى جدول (٥-٢)، ومع تباينها فى معدل إنتاجها

للغاز فإنها تتباين – كذلك – فى مستوى حساسيتها للغاز الذى يمكن أن تتعرض له من مصادر خارجية، دون أى علاقة بين المعدلين (جدول ٥-٣).

ومن أهم العوامل التى تؤدى إلى زيادة معدلات إنتاج المنتجات البستانية لغاز الإثيلين ما يلى:

١- وصول الثمار إلى مرحلة النضج.

٢- الأضرار الميكانيكية.

٣- الإصابات المرضية.

٤- ارتفاع درجة الحرارة حتى ٣٠°م.

جدول (٥-٢): معدل إنتاج بعض منتجات الخضر والفاكهة لغاز الإثيلين بالجزء فى المليون فى حرارة ٢٠°م.

معدل إنتاج غاز الإثيلين (ميكروليتر/ كجم/ ساعة)	المنتج
٠,٠١-٠,١	الكريز – الموالح – العنب – الفراولة – الخضر الورقية – الخضر الجذرية – البطاطس.
٠,١-١,٠	البلوبرى – الخيار – البامية – الأناناس – الفلفل
١-١٠	الموز – التين – شهد العسل – المانجو – الطماطم
١٠-١٠٠	التفاح – الأفاكادو – الكنتالوب – النكتارين – الباباظ – المشمس – الكيوى – الخوخ – الكمثرى – البرقوق
> ١٠٠	السابوتة – الـ Passion fruit

جدول (٥-٣): معدل إنتاج مختلف الحاصلات البستانية من الإثيلين، ومعدل حساسيتها للغاز الذى يمكن أن تتعرض له من مصادر خارجية.

الحاصلات البستانية	معدل إنتاجها للإثيلين	معدل حساسيتها للإثيلين	الضرر الرئيسى للتعرض للغاز
التفاح	عال جدًّا	عالى	سفعة (احتراق واسمرار)
المشمش	عالى	عالى	تحلل

تابع جدول (٥-٣).

الحاصلات البستانية	معدل إنتاجها للإثيلين	معدل حساسيتها للإثيلين	الضرر الرئيسى للتعرض للغاز
الأسبرجس	منخفض جدًا	متوسط	زيادة صلابة
الأفوكادو	عالى	عالى	تحلل
الموز	متوسط	عالى	تحلل
البروكولى	منخفض جدًا	عالى	اصفرار
كرنب بروكسل	منخفض جدًا	عالى	اصفرار
الكنتالوب	عالى	متوسط	تحلل
الجزر	منخفض جدًا	عالى	مرارة
الكريز	منخفض جدًا	منخفض	طراوة
الخيار	منخفض	عالى	اصفرار
الباذنجان	منخفض	متوسط إلى عالى	بقع بنية
الجريب فروت	منخفض جدًا	متوسط	عفن
العنب	منخفض جدًا	عالى	عفن
الكيوى	منخفض	عالى	تحلل
الليمون الأضاليا والبنزهيز	منخفض جدًا	متوسط	عفن
الخس الورقى	منخفض جدًا	عالى	بقع صدئة
المانجو	متوسط	عالى	تحلل
شهد العسل	متوسط	عالى	تحلل
النكتارين	عالى	عالى	تحلل
البصل والثوم	منخفض جدًا	منخفض	روائح وتزريع
البرتقال	منخفض جدًا	متوسط	عفن
البابااظ	عالى	عالى	تحلل
الخوخ	عالى	عالى	تحلل
الكمثرى	عالى	عالى	تحلل
الكاكى	منخفض	عالى	تحلل
البرقوق	متوسط	عالى	تحلل
البطاطس	منخفض جدًا	متوسط	تزريع

تابع جدول (٥–٣).

الحاصلات البستانية	معدل إنتاجها للإثيلين	معدل حساسيتها للإثيلين	الضرر الرئيسي للتعرض للغاز
الطماطم	متوسط	عالى	كرمشة وتحلل
البطيخ	منخفض	عالى	فقد الصلابة
القرنفل	منخفض جدًا	عالى	التفاف البتلات
الورد	منخفض جدًا	عالى	التفتح المبكر
أبصال الزهور	منخفض جدًا	عالى	تأخر التزهير
نباتات المشاتل	منخفض جدًا	عالى	بداية بطيئة للنمو

خصائص الإثيلين

إن الإثيلين (C_2H_2) مادة عضوية طبيعية بسيطة عديمة اللون وغازية فى ظروف الحرارة العادية.

ومن أهم الخصائص البيولوجية للإثيلين ما يلى:

١– عديم اللون فى الحرارة التىيُحدث فيها النشاط البيولوجى.

٢– مادة عضوية طبيعية.

٣– ينتشر بسهولة خلال الأنسجة النباتية.

٤– يختزل من الميثيونين methionine خلال الـ ACC عن طريق مسار أيضى معين.

٥– أهم الإنزيمات ذات العلاقة به: الـ ACC synthase والـ ACC oxidase.

٦– يثبِّط تمثيل الإثيلين بتواجد الغاز فى الأنسجة الخضرية والتكاثرية غير المكتملة التكوين.

٧– يحفِّز تمثيل الإثيلين بتواجد الإثيلين ذاته فى الأنسجة التكاثرية الكلايمكتيرية المكتملة التكوين (autocatalytic).

٨– يعد الإثيلين فعالا بتركيزات على مستوى أجزاء فى المليون وأجزاء فى البليون (كل جزء واحد فى المليون يعادل ٦,٥ × ١٠^-٩ مول على ٢٥°م).

٩- يحتاج تمثيل الغاز إلى الأكسجين، كما يحتاج إلى الأكسجين ومستويات منخفضة من ثانى أكسيد الكربون لكى يكون فعالاً.

تنتج الخضروات والفاكهة غاز الإثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها. وهو يعد من الهرمونات الطبيعية التى تكون نشطة فسيولوجيًّا فى تركيزات تصل – فى حدها الأدنى – إلى ٠,١ حتى ٠,٥ جزءًا فى المليون فى مختلف الثمار. وعلى خلاف ما كان شائعًا .. فإن الإثيلين هو الذى يحفز ويقدح التغيرات التى تؤدى إلى النضج، وليس أحد نواتج عملية النضج (Oeller وآخرون ١٩٩١).

يكون الإثيلين نشطًا بيولوجيًّا فى تركيزات شديدة الانخفاض تقدر بالأجزاء فى المليون أو فى البليون. وتقوم معظم النباتات بتمثيل كميات صغيرة من الغاز تؤثر فى نموه وتطوره. ولأنه غاز فإنه ينتشر بسهولة من مواقع إنتاجه، ولكى يستمر تأثيره البيولوجى فى الأنسجة يتعين استمرار إنتاجه. ومن بين العوائق التى تحد من انتشار الغاز وفقده: طبقة البشرة ومعاملات التغليف (كالتشميع) والعبوات. وتحت ظروف الشدّ البيئ أو البيولوجى، وكذلك أثناء النضج الكلايمكتيرى، يمكن أن يزداد إنتاج الإثيلين بحدة، ليزداد تراكمه فى العبوات والمخازن إلى درجة تضر بالمنتج أو المنتجات المجاورة له.

ويمكن لبعض المركبات الأخرى أن تعطى تأثيرات مماثلة لتأثير الإثيلين (C_2H_4). ولكن فى تركيزات عالية تبلغ ١٠٠ ضعف بالنسبة للبروبلين (C_3H_6)، و ٢٧٠٠ ضعف بالنسبة للأسيتلين (C_2H_2) (عن Saltveit ٢٠٠٤ب).

فعل الإثيلين وفاعليته

إن تواجد الإثيلين فى الجو المحيط بالمنتجات المخزنة يمكن أن يكون له تأثير مباشر على النسيج النباتى من خلال زيادته لتركيزه الداخلى لمستوى نشط. ومن مصادر الإثيلين الخارجى الرافعات الشوكية التى تعمل بالوقود، والتلوث من النشاط الصناعى، وحرق الوقود، والتمثيل الحيوى بواسطة النباتات المصابة بالأمراض والثمار الناضجة.

وأحيانًا يُعامل بالإثيلين — إما على صورة غاز، وإما على صورة إثيفون — بهدف تحفيز تغيرات مرغوب فيها.

إن نشاط الإثيلين داخل النبات لا يُنَظَّم فقط بواسطة مستواه، وإنما كذلك بمدى استجابة الأنسجة، وبتواجد ثانى أكسيد الكربون الذى يعد المضاد الطبيعى لفعل الإثيلين. هذا .. وتتوقف حساسية النسيج النباتى على النوع النباتى والصنف والمعاملات الزراعية التى تعرض لها ومرحلة نموه وتكوينه.

إن ظروف الشدِّ السابقة والحالية التى يتعرض لها المنتج يكون لها تأثيرات جوهرية على توجيه فعل الإثيلين. فمثلاً .. يحفز التجريح إنتاج الغاز مع مجموعة من الاستجابات الدفاعية النباتية مثل زيادة الـ phenylpropanoid metabolism. تتضمن بعض تلك الاستجابات تمثيل الإثيلين، بينما لا يتضمنها البعض الآخر. وتؤدى زيادة أيض الفينولات إلى إحداث زيادة كبيرة فى زيادة قابلية بعض النباتات للإصابة بالتلون البنى، كما فى التبقع الصدئى فى الخس.

إن تأثيرات زيادة قابلية الأنسجة للإصابة تظهر بوضوح فى الأنسجة الثمرية. فالثمار الكلايمكتيرية غير المكتملة التكوين تستجيب للإثيلين بزيادة معدل التنفس ونقص إنتاج الإثيلين. وما أن يصل النسيج إلى مرحلة معينة من النضج حتى يؤدى الإثيلين المعامل به إلى زيادة تمثيل الإثيلين الداخلى، فضلاً عن الاستمرار فى زيادة معدل التنفس (Saltveit ٢٠٠٤ب).

ويؤثر الإثيلين بيولوجيًّا بعد ارتباطه مع مستقبل يُعتَقَد بتواجده فى غشاء خلوى. وإذا ما حيل بين الإثيلين والمستقبل فإنه يصبح غير مؤثر؛ الأمر الذى يعرف باسم تثبيط فعل الإثيلين. ومن بين المركبات التى يمكنها إعاقة عمل المستقبلات: أيون الفضة، وثانى أكسيد الكربون، والـ 2,5-norbornadiene، والـ 1-methylcyclopropene (اختصارًا: 1-MCP). كذلك أمكن إعاقة عمل المستقبلات بتقنيات الشفرة العكسية antisense molecular techniques فى الطماطم؛ مما أدى إلى نضج الثمار ببطء شديد.

يتراوح المستوى النشط بيولوجيًا من الإثيلين بين ٥ أجزاء فى البليون للثمار غير الكلايمكتيرية، و ٠,١ إلى جزء واحد فى المليون لأجل إسراع النضج فى الثمار الكلايمكتيرية. ويتباين معدل إنتاج الثمار للإثيلين باختلاف نوعها ومرحلة تكوينها. ويمكن أن يتراوح التركيز الداخلى للإثيلين فى الثمار الناضجة غير الكلايمكتيرية من ٠,١ إلى ٠,٢ جزءًا فى المليون (كما فى الموالح والأناناس) إلى ٠,٠٤ حتى ٢٥٠٠ جزءًا فى المليون فى الثمار الناضجة الكلايمكتيرية (كما فى التفاح والكمثرى والموز والمانجو والخوخ والبرقوق والطماطم) (Baldwin ٢٠٠٤).

التحكم فى فعل الإثيلين

تتوفر ثلاث طرق أساسية للتحكم فى فعل الإثيلين، وهى:

١– منع المنتج من التعرض لمستويات نشطة بيولوجيًا من الغاز.

٢– منع النسيج النباتى من التفاعل بيولوجيًا مع الغاز الذى قد يتواجد فى محيط المنتج، أو ذلك الذى قد ينتجه النسيج ذاته.

٣– منع المنتج من الاستجابة للغاز الذى قد يتفاعل معه النسيج بيولوجيًا بالتحكم فى التعرض للغاز.

ومن المهم مراعاة ما يلى:

١– إبقاء الهواء حول المنتج خاليًا من الإثيلين.

٢– استعمال هواء جديد – خالٍ من الإثيلين – من الخارج.

٣– التخلص من الغاز الذى قد يتواجد فى غرف التخزين.

٤– استعمال مواد ماصة للغاز (فى أكياس صغيرة منها) توضع داخل عبوات المنتج.

٥– عزل المنتجات المنتجة للغاز عن تلك الحساسة له.

٦– إبقاء التعرض للغاز عند حده الأدنى من حيث مستوى التركيز ومدة التعرض.

٧– تثبيط تمثيل الإثيلين بالـ AVG، والـ ACC synthase، وبخفض تركيز الأكسجين، وبالـ ACC oxidase.

لا يشكل الإثيلين مشكلة تحت ظروف الحقل نظرًا لأن تركيزه – حتى فى الهواء الملوث – نادرًا ما يصل إلى مستويات نشطة بيولوجيًا. هذا إلاّ إنه فى البيوت المحمية وفى المخازن المبردة ووسائل الشحن غالبًا ما يتراكم الغاز إلى مستويات نشطة بيولوجيًا. وتتنوع مصادر الإثيلين فى تلك الأماكن المغلقة، ولكن أهم المصادر هى الأنسجة النباتية المصابة بالأمراض أو التى تعرضت أو تتعرض للشدّ، والأنسجة الناضجة، وكذلك من الاحتراق غير التام للوقود العضوى.

وبالتهوية المناسبة للأماكن المغلقة. والاهتمام الدائم لحالة النباتات المجاورة ولاستخدامات الرافعات الشوكية التى تعمل بالمحروقات، يمكن إبقاء الإثيلين أدنى من المستويات النشطة بيولوجيًا. وأحيانًا .. يأتى الإثيلين من النبات نفسه. وفى حالة كهذه تفيد معاملة المنتج بمثبطات تمثيل الإثيلين – مثل الـ AVF والـ AOA – قبل أو بعد الحصاد – فى الحد جوهريًا من هذا المصدر الذاتى للغاز. فمثلاً .. يمكن منع النسيج من إنتاج الإثيلين تحت تأثير الشدّ، أو باتنشيط الذاتى للإنتاج، بإعاقة المسار البيولوجى لتمثيل الغاز. وإذا لم يمكن منع التعرض للغاز، أو إذا ما كان التعرض قد حدث بالفعل، فإنه يتعين تقليل فترة التعرض ومستوى الغاز قدر المستطاع.

إن التحكم فى فاعلية الإثيلين لا يتضمن دائمًا خفضًا فى نشاطه؛ فتوجد تأثيرات كثيرة مفيدة للإثيلين يمكن أن تحفَّز، علمًا بأن التقنيات التى تستعمل فى زيادة فاعلية الإثيلين هى على العكس تمامًا من تلك التى تستعمل لأجل خفض فاعليته.

يمكن زيادة فعل الإثيلين باستعمال الأصناف الأكثر حساسية للغاز والتى تستجيب بتجانس له. ويجب المحافظة على تواجد تأثير فعال من الغاز حول المنتج لفترة تكفى لاستثارة الاستجابة الكاملة. ولكن نظرًا لأن الاستجابة للإثيلين تكون خطية مقابل لوغاريتم تركيز الغاز، فإنه يوجد مدى واسع جدًا للتركيزات الفعالة. تجب المعاملة بالإثيلين عند المرحلة المناسبة من تطور المنتج وفى الحرارة التى تناسب حث التأثيرات المطلوبة. ويسمح الإثيفون والمركبات المنتجة للغاز بإجراء معاملات تجارية تحت ظروف

الحقل. أما بعد الحصاد فإن المعاملة تكون غالبًا باستعمال أسطوانات الغاز المضغوط (Saltveit ٢٠٠٤ب).

التأثيرات المثبطة للإثيلين

يحفز الإثيلين ما يلي:

١- تمثيل الإثيلين فى الثمار الكلايمكتيرية أثناء نضجها.

٢- نضج الثمار الكلايمكتيرية وبعض الثمار غير الكلايمكتيرية.

٣- تمثيل الأنثوسيانين فى الثمار أثناء نضجها.

٤- تحلل الكلوروفيل والاصفرار.

٥- إنبات البذور.

٦- تكوين الجذور العرضية.

٧- التنفس والـ phenylpropanoid metabolism.

٨- التهيئة للإزهار فى الأناناس.

٩- الشيخوخة وتكوين طبقة الانفصال.

ويثبط الإثيلين ما يلى:

١- تمثيل الإثيلين فى الأنسجة الخضرية وفى الثمار غير الكلايمكتيرية.

٢- الإزهار وتطور الأزهار فى معظم النباتات.

٣- انتقال الأوكسينات.

٤- استطالة الجذور والسيقان (أى تثبيط النمو).

وعلى المستوى الخلوى يمكن أن يُحدث الإثيلين أيًا من التأثيرات الآتية:

١- تحفيز أيض الـ phenylpropanoid.

٢- تثبيط انتقال الأوكسين.

٣- تثبيط استطالة السيقان.

٤– تغيير اتجاه الألياف الدقيقة microfibres بالجدر الخلوية.

٥– تحفيز تمثيل الإنزيمات المحللة للجدر الخلوية.

٦– تحفيز إنتاج الأنثوسيانينات والكاروتينات التى تكسب الثمار ألوانها المميزة، والتى يعد معظمها من مضادات الأكسدة.

٧– تحفيز تحلل الكلوروفيل.

ويصاحب تلك التغيرات الخلوية – غالبًا – نشاطًا فى عديد من الإنزيمات، مثل:

Polygalacturonase	chlorophyllase
Cellulase	polyphenoloxidase
Peroxidase	phenylalanine amonia lyase

أما على مستوى النبات فإن الإثيلين يمكن أن يؤثر كما يلى:

١– تحفيز نضج الثمار الكلايمكتيرية.

٢– تحفيز شيخوخة بعض الثمار والأزهار.

٣– تحفيز إنبات البذور.

٤– تحفيز تكوين الجذور العرضية.

٥– سقوط بعض الأعضاء النباتية.

٦– زيادة معدل التنفس.

ويستخدم الإثيفون – المنتج للإثيلين – قبل الحصاد فى إسراع نضج التفاح مبكرًا، وحث تكوين طبقة الانفصال فى الموالح أو إسراع نضج التين. كما يستعمل الإثيلين بعد الحصاد فى أنضاج الموز والمانجو والكنتالوب والطماطم بتركيزات تتراوح بين ١٠٠ و ١٠٠٠ جزء فى المليون، وللتخلص من اللون الأخضر فى ثمار الموالح، وحفز تمثيل الكاروتينات بتركيزات تتراوح بين جزء واحد وخمسة أجزاء فى المليون.

كذلك يلعب الإثيلين دورًا فى الاستجابات الدفاعية للنباتات؛ فهو يزيد من قابلية إصابة ثمار الموالح ببعض الإصابات التى كانت كامنة فينشطها (مثل أعفان طرف

العنق)، ولكنه يقلل الأعفان التى تحدث فيها الإصابة عن طريق الجروح (Baldwin ٢٠٠٤).

التأثيرات المفيدة والضارة للإثيلين

يمكن أن يكون للإيثيلين تأثيرات مفيدة وأخرى ضارة على الفاكهة والخضر والزهور بعد الحصاد حسب عدد من المتغيرات، كما يلى:

التأثيرات المفيدة:

١- تحفيز تلوين الثمار.

٢- تحفيز نضج الثمار الكلايمكتيرية.

٣- تحفيز التخلص من اللون الأخضر فى ثمار الموالح.

٤- تحفيز تفتح الثمار فى النقل.

٥- تغير من التعبير الجنسى فى القرعيات.

٦- يحفز الإزهار فى الأناناس.

٧- يقلل رقاد محاصيل الحبوب.

٨- التخلص من اللون الأخضر فى ثمار الحمضيات.

٩- إزهار الأناناس.

١٠- زيادة تكوين السكر فى العنب.

١١- انفصال وسقوط ثمار النقل.

١٢- عامل مساعد فى الحصاد بتحفيزه طبقة الانفصال.

١٣- خفض الإصابة بالبقع السوداء فى البطاطس.

١٤- خفض القابلية للإصابة ببعض مسببات الأمراض.

التأثيرات الضارة:

من التأثيرات الضارة ذات الطبيعة العامة أنه:

١- يحفز الوصول إلى الشيخوخة.

٢– يحفز فقد الصلابة فى الثمار.

٣– يحفز فقد الكلوروفيل (أى يحفز الاصفرار).

٤– يحفز تبرعم البطاطس.

٥– يحفز التغيرات اللونية (كتكوين اللون البنى browning).

٦– يحفز سقوط الأوراق والأزهار.

٧– يحفز أيض الـ phenylpropanoid (Saltveit ٢٠٠٤ب).

ومن أهم الحالات الخاصة للأضرار التى يمكن أن تُصاحب تعـرض منتجـات الخضر للإثيلين من مصادر خارجية ما يلى:

١– التبقع الصدئ فى الخس على امتداد العرق الوسطى.

٢– الاصفرار أو فقدان اللون الأخضر (كما فى الخيار والبروكولى والكيل والسبانخ والأعشاب).

٣– زيادة صلابة اللفت.

٤– مرارة الجز والجزر الأبيض.

٥– اصفرار وانفصال الأوراق فى الكرنبيات.

٦– الطراوة والتنقير وظهور مذاق غير مرغوب فيه فى الفلفل والكوسة والبطيخ.

٧– التلون البنى والتغيرات اللونية الأخرى فى لب الباذنجان وبذوره.

٨– التغيرات اللونية وظهور طعم غير مرغوب فيه فى البطاطا.

٩– سرعة النضج والطراوة فى ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين (Suslow ٢٠٠٠).

١٠– انفصال الكأس كما فى الباذنجان.

١١– الذبول فى الخضر الورقية.

١٢– انهيار قشرة الثمرة كما فى الموالح.

١٣– زيادة صلابة مهاميز الأسبرجس واصفرار قمتها.

١٤– اصفرار قرون الفاصوليا.

١٥– اصفرار الأوراق الخارجية للكرنب بروكسل.

١٦– تغير لون أقراص القنبيط وسقوط الأوراق المحيطة بالقرص.

١٧– زيادة تزريع أبصال البصل أثناء التخزين.

١٨– اصفرار الكأس فى قرون البسلة الخضراء.

هذا .. وتعد تأثيرات الإثيلين متجمعة طوال فترة ما بعد الحصاد وحتى التسويق.

ومن أهم العيوب الفسيولوجية التى يتسبب فيها الإثيلين، ما يلى:

١– القلب البنى فى التفاح.

٢– الانهيار الداخلى فى الكيوى والبطيخ.

٣– التبقع الصدئ فى الخس.

٤– انفصال أوراق الكرنب.

٥– زيادة الحساسية لأضرار البرودة فى الأفوكادو، والجريب فروت.

٦– الالتفاف نحو الداخل لبتلات الأزهار.

٧– انغلاق الأزهار المتفتحة.

٨– منع استطالة السيقان والجذور فى بعض الأنواع البصلية.

٩– تحلل البراعم فى التوليب.

١٠– زيادة التنفس فى السوسن وأبصال التوليب.

١١– حدوث ظاهرة الـ epinasty (انحناء الأوراق لأسفل) فى بعض نباتات الزينة (عن Baldwin ٢٠٠٤).

دور الإثيلين فى حث الشيخوخة والعيوب الفسيولوجية:

يؤدى وجود الثمار ذات المعدلات المرتفعة فى إنتاج الغاز، مثل: التفاح، والكمثرى، والبرقوق، والأفوكادو، والقاوون الشبكى، والباباظ، والخوخ، بجانب الخضر الحساسة للغاز إلى حدوث أضرار كثيرة.

وتتضمن التأثيرات الفسيولوجية والبيوكيميائية للإثيلين على الحاصلات البستانية ما يلى:

١– زيادة معدل التنفس.

٢– زيادة نشاط بعض الإنزيمات، مثل:

polygalacturonase
peroxidase
lipoxidase
alpha-amylase
polyphenoloxidase
phenylalanine ammonia lyase

٣– زيادة نفاذية الأغشية الخلوية وفقد الخلايا لقدرتها على فصل بعض مكوناتها عن بعضها البعض (أى فقد ظاهرة الـ compartmentalization).

٤– تحوير أيض الأوكسين وانتقاله فى النبات.

٥– يتفاعل الإثيلين مع مختلف منظمات النمو: الأوكسينات، والجبريللينات، والسيتوكينينات، وحامض الأبسيسك.

٦– فقدان اللون الأخضر:

فالإثيلين يسرع من تحلل الكلوروفيل، ويؤدى إلى اصفرار الأنسجة الخضراء، فتنخفض بذلك صفات الجودة فى الخضر الورقية، وفى الثمار الخضراء الأخرى، كالبروكولى، والخرشوف. ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ– أدى تعرض الكرنب لـ ١٠–١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين أثناء التخزين فى حرارة ١°م لمدة خمسة أسابيع إلى فقدان اللون الأخضر وسقوط الأوراق. وتعتبر بعض أصناف الكرنب أكثر حساسية فى هذا الشأن، حيث تفقد اللون الأخضر فى تركيزات أقل من الإثيلين تقدر بحوالى ١–٥ أجزاء فى المليون.

ب– أدى تركيز ٤ أجزاء فى المليون من الغاز إلى زيادة الاصفرار ومعدل التدهور فى كرنب بروكسل، والبروكولى، والقنبيط فى حرارة ١°م.

جـ- لوحظ أن ثمار الكوسة المعرضة لتركيز ٥ أجزاء فى المليون من الغاز فى حرارة ١٥-٢٠°م قد فقدت لونها الأخضر.

د- أدت معاملة ثمار الخيار بتركيز ٠,١-١٠ أجزاء فى المليون من الإثيلين إلى فقدانها للون الأخضر، كما نقصت صلابة الثمار فى التركيزات المرتفعة.

٧- انفصال الأوراق والأعضاء النباتية الأخرى Abscission:

يؤدى التعرض للإثيلين إلى انفصال الأوراق وسقوطها فى الكرنب، وكرنب بروكسل، والقنبيط، والخضر الورقية، وانفصال البراعم فى البروكولى، وانفصال أوراق الكأس فى الباذنجان. فمثلاً .. أدى تعرض ثمار الباذنجان لغاز الإثيلين بتركيز ١-١٠ أجزاء فى المليون لمدة يومين إلى انفصال الكأس، وتلون لب الثمار والبذور باللون البنى، وسرعة تعفن الثمار.

٨- تأثيرات غير مرغوبة على القوام Texture:

يؤدى تعرض الثمار للإثيلين إلى فقدانها لصلابتها، وخفض فترة تخزينها ومقدرتها على الشحن؛ ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- أدى تعرض ثمار البطيخ للإثيلين بتركيز ٥-٦٠ جزءًا فى المليون إلى فقدان الثمار لصلابتها، ونقص سمك قشرة الثمرة، وتهتك أنسجتها. وقد صاحب ذلك زيادة فى نشاط الإنزيمات التالية على الترتيب: peroxidase، و polyphenol oxidase، و esterase، و cellulase، و pectinase.

ب- برغم أن تعرض جذور البطاطا للإثيلين قد قلل من صلابتها بعد الطهى – وهى صفة مرغوبة – إلا أن المعاملة كان لها تأثير سئ على اللون والطعم.

جـ- أدى تعرض مهاميز الأسبرجس لتركيز ١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين لمدة ساعة إلى زيادة صلابتها، وكان ذلك مصحوبًا بزيادة فى نشاط إنزيم البيروكسيديز peroxidase مع زيادة تمثيل اللجنين.

٩- تغيرات فى المذاق:

رغم أن الإثيلين يحدث تغيرات مرغوبة فى طعم ونكهة الخضروات تشمل تحول

النشا إلى سكر، وفقدان الحموضة، وتكوين المركبات المتطايرة، إلا أنه يؤدى أيضًا إلى إحداث تغيرات غير مرغوبة، كما فى الحالات التالية:

أ- تكون مادة مرة (عبارة عن isocumarin) فى الجزر.

ب- تكوّن طعم مر فى الكرنب عند التعرض للغاز بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون.

١٠- تبرعم البطاطس:

تنمو البراعم من عيون البطاطس عند تعرضها لغاز الإثيلين بتركيز جزأين فى المليون لمدة ٧٢ ساعة؛ وبذلك تؤدى هذه المعاملة إلى إنهاء حالة السكون، إلا أنها تمنع استطالة النموات المتكونة. ويعد هذا التأثير مفيدًا فى حالة تقاوى البطاطس، ولكنه غير مرغوب فى البطاطس المعدة للاستهلاك. وتصاحب المعاملة بالإثيلين زيادة كبيرة فى معدل تنفس الدرنات.

١١- تكوين تبقعات صدئة russet spoting فى الخس:

يعتبر الإثيلين هو العامل الأساسى فى ظهور حالة التبقعات الصدئة فى الخس. ويكفى تعرض الخس لتركيز ٠,١ جزء فى المليون لظهور هذا العيب الفسيولوجى بصورة كبيرة أثناء الشحن العادى فى حرارة ٥°م لمدة ٥-٨ أيام. وتبدأ الأعراض فى الظهور على شكل بقع صغيرة فى البشرة أو النسيج الوسطى (الميزوفيل) تمتد حتى النسيج الوعائى؛ حيث يتدهور نسيج الميزوفيل، وتنشأ عن ذلك انخفاضات صدئة تشبه النقر (عن Kader ١٩٨٥).

وكثيرًا ما يكون التغير الذى يحدثه التعرض للإثيلين فى أحد المنتجات مرغوبًا فيه، بينما قد يكون نفس هذا التغير ضارًا فى محصول آخر. فمثلاً .. يستعمل الإثيلين لتحفيز النضج فى الموز، والكنتالوب، والطماطم، والتخلص من اللون الأخضر فى الموالح، وتمثيل الصبغات فى التفاح، ولكن هذه التغيرات ذاتها لا تكون مرغوبة عندما يحفز الإثيلين: النضج الزائد فى الثمار، واصفرار البروكولى، وتكوين بقع بنية صدئة فى الخس، وشيخوخة الأزهار. وبسبب ذلك فإن للتحكم فى فعل الإثيلين أهمية بالغة لجميع المتعاملين مع المحاصيل البستانية بدءًا من المنتجين حتى المستهلكين.

وفى معظم الأنسجة الخضرية لا يُنتج الإثيلين بكميات نشطة بيولوجيًا إلا فى خلال مراحل تطورها الأولى، أو استجابة لأى حالة شدٍّ سواء أكانت بيئية أم حيوية.

وفى مقابل الأنسجة الخضرية. فإن الإثيلين يلعب دورًا حاسمًا فى تطور الأنسجة التكاثرية وفى نضج بعض الثمار الكلايمكتيرية. ويزداد معدل إنتاج الإثيلين بصورة واضحة مميزة أثناء نضج الثمار الكلايمكتيرية، مثل التفاح، والأفوكادو، والموز، والكنتالوب، والكمثرى، والطماطم. ففى تلك الثمار تؤدى المعاملة بالإثيلين أو إنتاجه بكميات قليلة إلى التحفيز الذاتى لزيادة إنتاجه، الأمر الذى يكون دليلاً على بداية النضج، حيث يلزم الغاز لتفاعلات أساسية لاستمرار النضج.

وما أن يزيد محتوى الإثيلين الداخلى عن مستوى معين – يتوقف على النوع النباتى، والنسيج، ومرحلة تطوره – فإن الإنتاج الإضافى للإيثيلين يحفَّز بوجود الإثيلين المنتج سابقًا. وبهذه الطريقة فإن التغذية الاسترجاعية feedback الذاتية الإيجابية تؤدى إلى زيادة إنتاج الإثيلين، وزيادة تركيزه الداخلى بنحو ١٠٠٠ ضعف أثناء النضج. ويمكن للمعاملة بالإثيلين إسراع نضج الثمار الكلايمكتيرية مثل الأفوكادو، والموز، وشهد العسل، والطماطم، وكذلك الإسراع بحدوث تغيرات الجودة المرغوب فيها فى الثمار غير الكلايمكتيرية، مثل التخلص من اللون الأخضر فى الليمون والبرتقال. وما أن يحدث التحفيز الداخلى الذاتى لإنتاج الإثيلين فإن خفض تركيزه الخارجى لا يكون له تأثير يذكر على مستواه الداخلى، أو معدل إنتاجه، أو فعله (Saltveit ٢٠٠٤ب).

أضرار الإثيلين للمنتجات المجهزة للمستهلك

إن من أهم التغيرات التى تؤدى إلى فقد المنتج الطازج المجهز جزئيًا pre-cut (أو partially processed) لقوامه وصلابته استمرار تحلل الصفيحة الوسطى بين الجدر الخلوية، الأمر الذى تزداد سرعته بالإثيلين الذى تحفز الجروح إنتاجه، فضلاً عن الجروح، والفقد المائى، والتغيرات الناشئة عن تقدم النضج (Toivonen & Brumnell ٢٠٠٨).

وسائل خفض وزيادة فاعلية الإثيلين

إن الإثيلين أحد منظمات النمو النباتية الهامة وله تأثيرات كبيرة على عدة أوجه من النمو والتطور فى النباتات. ويمكن بالتحكم فى فاعليته زيادة تأثيراته المفيدة وخفض تأثيراته الضارة.

ويتحقق خفض فاعلية الإثيلين بالوسائل التالية:

١- استعمال الأصناف الأكثر تحملاً للإثيلين.

٢- التخلص من الإثيلين الموجود فى هواء المخازن.

٣- المحافظة على أقل درجة حرارة يمكن أن يتحملها المحصول.

٤- التخزين فى CA أو MA، أو فى MAP.

٥- تقصير الفترة بين تعرض المنتج للإثيلين واستعماله.

أما زيادة فاعلية الإثيلين فتتحقق من خلال الوسائل التالية:

١- استعمال الأصناف الأكثر حساسية للغاز.

٢- المحافظة على مستوى نشط من الإثيلين فى الهواء.

٣- المحافظة على حرارة مثلى لفعل الغاز.

٤- التخزين فى وجود مستويات مناسبة من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون.

٥- السماح بمرور وقت كافٍ بين المعاملة والاستهلاك (Saltveit ٢٠٠٤ب).

منع النسيج النباتى من التفاعل بيولوجياً مع الإثيلين

إذا ما تواجد الإثيلين بالهواء المحيط بالمنتج بتركيزات عالية فإنه يمكن اتباع بعض الوسائل التى تعترض النسيج من التفاعل بيولوجيًّا مع الغاز، كما يلى:

١- التخزين فى أقل درجة حرارة ممكنة، الأمر الذى يفيد فى إبطاء أى تفاعل بيولوجى.

٢- استعمال مثبطات التفاعل البيولوجى مع الغاز، مثل: ثانى أكسيد الكربون،

والفضة (مثلاً .. silver thiosulfate)، و 1-methyl cyclopropene (وهو الذى يُعطى الإسم المختصر 1-MCP).

٣- استعمال أصناف أقل حساسية للإثيلين.

٤- اعتراض الإشارة التى يستحثها الإثيلين (Saltveit ٢٠٠٤ب).

يمكن تنظيم مستوى الإثيلين إلى حد ما باستعمال مثبطات تمثيل الإثيلين. مثل AVG، و AOA، ومثبطات فعل الإثيلين، مثل الـ silver thiosulfate، و -2,5 norbornadiene، و trans-cyclootene، إلا أن استعمال تلك المركبات مع الأغذية لا يعد مقبولاً. فضلاً عن أن الفضة عنصر ثقيل، وأن لكل من الـ 2,5-norbornadiene، والـ trans-cyclooctene رائحة كريهة. بينما يلزم استعمالهما بتركيزات عالية. وقد حدى ذلك بالباحثين إلى البحث عن بدائل أخرى مقبولة، وهو ما وجدوه فى مركبات الـ cyclopropene، وخاصة المركب 1-methylcyclopropene (اختصارًا: 1-MCP)، وهو غاز عديم الرائحة وفعال بتركيز منخفض، وتدوم فاعليته لمدة ٢-٣ أسابيع فى الحرارة المنخفضة (Srivastava ٢٠٠٢).

وتؤدى المعاملة بأيون الفضة — الذى يوقف نشاط مستقبل الإثيلين — إلى منع أى بدء للنضج عند المعاملة بالإثيلين. وكذلك إلى وقف – أى منع استمرار — عملية النضج التى ربما كانت قد بدأت. فعلى سبيل المثال .. يتوقف التطور اللونى والتمثيل الإنزيمى (Wills وآخرون ١٩٩٨).

ويستخدم المركب 1-MCP فى معاملة الحاصلات البستانية بتركيز شديد الانخفاض يصل إلى ١٠ أجزاء فى البليون؛ لأجل تثبيط إنتاجها للإيثيلين. ومن تحضيراته التجارية Floralifa، وهو مسحوق. و EthylBloc، و SmartFresh.

تزداد فائدة معاملة الخضر بـ 1-MCP عندما تخزن مختلطة معًا؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى زيادة تركيز الغاز عن جزء واحد فى المليون، وهو المستوى الذى يضر — مثلا — بالخضر الورقية. كما أن فائدة المعاملة تزداد عندما يكون التخزين فى حرارة تزيد عن الحرارة المثلى للمحصول (Bower & Mitcham ٢٠٠١).

وأوضحت دراسات Zhang وآخرون (٢٠٠٩) على الطماطم أن التأخير الذى يشاهد – أحيانًا – فى الاستجابة للمعاملة بالـ 1-MCP فى الثمار الكلايمكتيرية يتأثر بالمستوى الداخلى للثمار من الإثيلين.

إن أسهل وسيلة للتخلص من الإثيلين فى المخازن هو أكسدته بواسطة برمنجنات البوتسايوم. وفى المركب التجارى Ethylene Gaz Gurdian (اختصارًا: EGG) يُغلِّف الزيوليت zeolite الطبيعى (وهو صورة نقية من الرماد البركانى) برمنجيات البوتاسيوم. وبما للـ zeolite من سطح خارجى كبير جدًّا، فإنه يعمل على امتصاص الإثيلين لكى يؤكسَد بالبرمنجنات. يوجد ذلك داخل "باكتات" خاصة تعرف باسم Tyvek packets مقاومة للماء، ولكنها منفذة للإثيلين بدرجة كبيرة فى الوقت الذى تمنع فيه أى من المكونات من التسرب إلى الخارج. وعلى الرغم من أن تلك المكونات ليست سامة فإنها قد تَخْتلط بالمنتج وتلونه. يستخدم هذا المنتج التجارى – خاصة – فى الثلاجات المنزلية.

وتُنتج شركة Ethylene Control, Inc. منتجات تجارية تُسهم فى التخلص من غاز الإثيلين الذى يتراكم فى المخازن. تتميز تلك المنتجات – كذلك – بأنها تفيد فى قتل البكتيريا والفيروسات العالقة بالهواء وكذلك بعض الفطريات المسببة للأعفان، مثل العفن الحامضى sour rot، والعفن الأزرق blue mold، والعفن البنى brown rot. ومن تلك المنتجات ما يُعرف باسم: Power Pellets. وهو منتج يعمل من خلال قدرته العالية على أكسدة الإثيلين. يتوفر المنتج على صورة أقراص تتحول تدريجيًا – بعد أكسدتها للإثيلين – إلى ثانى أكسيد المنجنيز الذى يمكن استعماله كسماد (Ethylene Control, Inc. ٢٠٠٨ – الإنترنت).

وتتوفر منتجات تجارية أخرى مثل Ethysorb، و Purafil يمكن وضعها فى المخازن، أو حتى داخل عبوات المحصول، لأجل التخلص من الإثيلين. وهى تحضر بنقع أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 فى محلول مشبع من برمنجنات البوتاسيوم، ثم تجفيفها. يكون أكسيد الألومنيوم مجرد حامل للبرمنجنات، ويكون على صورة

حبيبات صغيرة، وكلما صغرت تلك الحبيبات كلما ازدادت مساحة سطحها الخارجي. وكلما كانت أكثر قدرة على الامتصاص. وإذا ما لامس أى جزئ إثيلين فى العبوة إحدى الحبيبات فإنه يتأكسد. وبذا .. تزداد سرعة تأكسد الإثيلين كلما ازداد مسطح الحبيبات. وهذا التأكسد يكون فى اتجاه واحد (أى لا يحدث تفاعل عكسى بالاختزال)، ويتغير لون الحبيبات من القرمزى إلى البنى، بما يعنى ضرورة استبدالها بأخرى جديدة. وفى إحدى الدراسات وجد أن تركيز الإثيلين فى العبوات المعدلة للهواء MAP للبروكولى انخفض – بعد ١٠ أيام من التخزين على الصفر المئوى – من ٠,٤٢٣ جزءًا فى المليون فى الكنترول إلى ٠,١٩٨ جزءًا فى المليون فى العبوات التى احتوت على Ethysorb. هذا .. وتقل كفاءة تلك المنتجات التجارية فى التخلص من الإثيلين مع زيادة الرطوبة النسبية؛ الأمر الذى يكون حتميًّا سواءً فى الـ MAP، أم فى المخازن ذاتها (Thompson ١٩٩٨).

منع النبات من الاستجابة للإثيلين

من بين وسائل التحكم فى الإثيلين منع النبات من الاستجابة للغاز الذى يتفاعل معه بيولوجيًّا.

ويتحقق ذلك المنع بإعاقة آلية الأيض التى استحثها التعرض للغاز بأى من الوسائل التالية:

١- التخزين فى أقل درجة حرارة ممكنة.

٢- التخزين فى CA، أو MA، أو MAP (لأجل خفض مستوى الأكسجين).

٣- تثبيط أو خفض أنشطة إنزيمية معينة باستعمال مثبطات كيميائية (مثل ATP) أو بوسائل الهندسة الوراثية.

٤- إعادة توجيه تمثيل البروتين (مثلاً بالصدمة الحرارية).

٥- سرعة استعمال (استهلاك) المنتج (Saltveit ٢٠٠٤ب).

هذا .. ويعتقد بأن إنتاج الإثيلين فى النباتات النامية ينظَّم عن طريق أكسيد النيتريك

NO. وأنه تحت ظروف الشدّ البيئى – مثل نقص الرطوبة الأرضية. والحرارة والملوحة – لفترات قصيرة يؤدى إنتاج أكسيد النيتريك إلى الحد من تأثير الشدّ. واستطرادا مع ذلك المنطق فإنه يعتقد بأن المعاملة بأكسيد النيتريك يمكن أن تفيد فى إبطاء التأثيرات السلبية للإثيلين – والتى تبرز فى التعجيل بالنضج فى الثمار الكلايمكتيرية والتعجيل بالشيخوخة فى الأنسجة الخضرية – وذلك من خلال إبطاء إنتاج الإثيلين (عن Wills وآخرين ٢٠٠٠).

العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإثيلين

فى محاولة لدراسة العلاقة بين أضرار البرودة وإنتاج الإثيلين فى الثمار الحساسة للحرارة المنخفضة .. وُجد أن تعريض ثمار الخيار لحرارة ٢,٥°م أسرع من تمثيل مركب 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)، وهو الذى يتحول إنزيميًّا إلى إثيلين، وذلك مقارنة بالثمار التى خزنت على حرارة ١٣°م. وحدث أعلى تمثيل للإثيلين بعد أربعة أيام من التعريض للحرارة المنخفضة، ثم توقف فى اليوم السادس. أما الـ ACC فقد وصل إلى أعلى مستوى له فى اليوم السابع بعد معاملة البرودة. ثم تدنى إلى مستوى منخفض بعد اليوم التاسع.

ويبدو أن التعرض للحرارة المنخفضة فترة طويلة يضر بالنظام الذى يحول الـ ACC إلى إثيلين. كما أن درجات الحرارة المفرطة فى الانحراف (سواء أكان ذلك بالارتفاع. أم بالانخفاض) تثبط من تمثيل الإثيلين من خلال تثبيطها لنشاط الإنزيمات المسئولة عن تكوينه.

وحيث إن الإثيلين غالبًا ما يزيد إنتاجه عند تعرض الأنسجة النباتية لحرارة منخفضة أو عالية لفترات محدودة .. فإنه يبدو أن الأضرار الفيزيائية التى تحدث بالأغشية البلازمية للخلايا النباتية وعضيّاتها – من جراء التعرض للحرارة المتطرفة – هى التى قد تعمل على إعادة تسكين decompartmentalization الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الإثيلين؛ بما يؤدى إلى زيادة إنتاجه (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

وسائل التحكم فى مستوى الإثيلين فى الهواء المحيط بالمنتجات

تحصد كثير من الثمار الكلايمكتيرية — مثل الموز والطماطم والخوخ والكمثرى — وهى مكتملة التكوين، ويتم التحكم فى نضجها أثناء تخزينها؛ الأمر الذى يتحقق — أساسًا — بتنظيم مستوى الإثيلين فلو ازداد كثيرًا إنتاج الإثيلين بواسطة الثمار أثناء نضجها فإن ذلك يؤدى إلى تدهور نوعيتها وضعف صلاحيتها للتخزين.

ولتجنب الأضرار التى يمكن أن يحدثها الإثيلين فى المخازن، يلزم التخلص منه بإحدى الطرق التالية:

١– إزالة الغاز من المخازن أولاً بالتهوية الجيدة.

٢– تجنب مصادر الغاز التى من أهمها:

أ– الرافعات الشوكية fork lifts والآلات التى تعمل بالوقود: فيجب عدم تركها دائرة فى المخازن دون استعمال. ويفضل استخدام الرافعات الشوكية التى تعمل بالكهرباء.

ب– إزالة الثمار الزائدة النضج أولاً بأول.

جـ– إزالة الثمار المجروحة.

د– عدم ترك الثمار المنتجة للإثيلين مع الثمار الأخرى الأقل إنتاجًا للغاز. ويستفاد فى هذا الشأن من جدول (٥–٤) الذى تقسم فيه ثمار الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانات خلطها أثناء النقل والتخزين، بناء على احتياجاتها من درجات الحرارة والرطوبة، ومعدل إنتاجها من غاز الإثيلين، ومدى حساسيتها لهذا الغاز.

٣– استخدام مادة ماصة ذات مسطح كبير يمكنها ادمصاص برمنجنات البوتاسيوم، مثل الفيروميكوليت، والسيليكاجل، والبرليت؛ حيث تتحول البرمنجنات بواسطة الغاز من صورة MnO_4^- ذات اللون القرمزى إلى الصورة MnO_2 ذات اللون البنى (Sherman ١٩٨٥).

٤– كذلك يمكن التخلص من الإثيلين بمواد ماصة أخرى مثل الفحم النباتى المعامل بالبروم brominated charcoal، والأوزون، والأشعة فوق البنفسجية.

جدول (٥–٤): تقسيم محاصيل الخضر والفاكهة الطازجة حسب إمكانات خلطها أثناء النقل والتخزين بناء على احتياجاها من حيث درجات الحرارة والرطوبة ومعدل إنتاجها من غاز الإثيلين ومدى حساسيتها لهذا الغاز (عن عبدالقادر ١٩٨٦).

المجموعة	درجة الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (%)	أنواع الخضر والفاكهة التابعة للمجموعة
١	صفر–١	٩٠–٩٥	الكمثرى – التفاح – المشمش – الخوخ – النكتارين – البرقوق – الفراولة – التين – البلح – العنب (غير المعامل بغاز ثانى أكسيد الكبريت).
٢	صفر–١	٩٠–٩٥	الخرشوف – الجزر – البنجر – الفجل – اللفت – البصل الأخضر – الخس – السبانخ – البقدونس – الكرفس – الكرات – الكرنب – القنبيط – البسلة – الفول الأخضر.
٣	صفر–١	٦٥–٧٠	البصل الجاف – الثوم الجاف
٤	٥–٨	٨٥–٩٠	البرتقال – اليوسفى – الرمان – الزيتون – القاوون.
٥	٧–٨	٩٠–٩٥	الفاصوليا – اللوبيا – الخيار – القثاء – قرع الكوسة – البطاطس.
٦	١٠–١٢	٩٠–٩٥	الأفوكادو (الزبدية) – الجوافة – الطماطم المكتملة النضج – الفلفل – الباذنجان – البامية – البطيخ – الشمام – كيزان العسل.
٧	١٢–١٤	٨٥–٩٠	الموز – المانجو – الباباظ – القشطة – الجريب فروت – الليمون الأضاليا – الليمون البلدى المالح – الطماطم – (مكتملة التكوين خضراء).
٨	١٢–١٤	٨٥–٩٠	البطاطا – القلقاس

٥- المعاملة بالمركبات المانعة لتمثيل الإثيلين، مثل aminovinylglycine (اختصارًا: AVG)، والكوبالت الذى يثبط الـ ACS. ولكنهما لا يمكن استعمالهما بعد الحصاد.

٦- تثبيط تمثيل الإثيلين بخفض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط، أو بالتغليف بالمواد التى يمكن أكلها edible coatings، أو بخفض درجة الحرارة.

٧- اللجوء إلى الهندسة الوراثية لخفض إنتاج الثمار من الإثيلين؛ فلقد أمكن فى الطماطم – على سبيل المثال – الحد من نشاط الإنزيمات الرئيسية المسئولة عن تمثيل الإثيلين والتى منها: ACS، و ACO، ومستقبل الإثيلين، و ACC deaminase، وذلك بطرق الهندسة الوراثية (Baldwin ٢٠٠٤).

الإنضاج بالإثيلين

إن جودة بعض المنتجات تزداد إذا ما تم حصادها وهى مكتملة التكوين mature، بحيث يمكنها تحمل ظروف الشحن ومدته، ثم معاملتها بالإثيلين لتحفيز نضجها قبل عرضها للبيع. ومن هذه الثمار: الأفوكادو، والموز، وشهد العسل، والليمون، والبرتقال، والطماطم. ويعد تركيز غاز الإنضاج فعّالاً عند ١٠٠-١٥٠ ميكروليتر إثيلين لكل لتر من هواء المخزن.

ويمكن التوصل إلى ذلك التركيز بعدة طرق، كما يلى:

١- طريقة الطلقة 'shot' method .. وفيها يتم إدخال كمية كبيرة نسبيًا من الغاز فى حجرة الإنضاج بالاعتماد على مقياس يوضع على أنبوبة الغاز المضغوط. وتجدر الإشارة إلى أن تواجد الغاز على الهواء بتركيزات تتراوح بين ٣٫١٪، و ٣٢٪ يكون متفجرًا. وبينما تبلغ هذه التركيزات الخطرة أكثر من ٢٠٠ ضعف تلك الموصى بها، فإنها حدثت بالفعل عندما لم تكن أجهزة قياس الغاز سليمة. ويمكن التخلص من تلك المشكلة باستعمال الغاز المضغوط بتركيز ٣٫١٪ فى النيتروجين.

٢– استعمال مولدات لغاز الإثيلين والتي يسخن فيها الغاز المسال لإنتاج نحو ١٠–١٠٠ جزء في المليون من الغاز بصورة دائمة حتى ٢٤ ساعة.

٣– استعمال معدن ساخن في تحويل الكحول إلى إثيلين catylalytic converters. وهي تفيد في إدخال تيار مستمر من الغاز في حجرة التخزين.

٤– يمكن المعاملة بالإثيلين في صورة منتجات سائلة يمكن أن تتحلل وتطلق الغاز. مثل الإثريل Ethrel. وبينما يعد الإثريل ثابتًا في الـ pH الحامضي. فإنه سريعًا ما يتحلل معطيًا الإثيلين مع ارتفاع الحرارة وال pH.

وبينما يُسمح باستعمال الإثيفون (الإثريل) تحت ظروف الحقل في عديد من المحاصيل، فإنه ليس له استعمالات مباشرة معتمدة بعد الحصاد.

هذا .. ويجب أن تكون المعاملة بالغاز في حجرات الإنضاج متجانسة تمامًا داخل الحجرة بين العبوات وداخلها. مع اتخاذ الوسائل الكفيلة بسرعة التخلص من حرارة التنفس والتراكم الزائد لثاني أكسيد الكربون. ومع زيادة الرطوبة النسبية لخفض الفقد الرطوبي من المنتج. لكن مع مراقبة الإصابات المرضية (Saltveit ٢٠٠٤ب).

٥– استخدام الثمار الناضجة المنتجة للإثيلين بمعدلات عالية كمصدر للغاز. وذلك في حالات الإنضاج على نطاق ضيق (Kader & Kasmire ١٩٨٤).

هذا .. ومن أهم بدائل الإثيلين في معاملات الإنضاج الصناعي بعد الحصاد غاز الأسيتلين، الذي يتولد عند تحلل كربيد الكالسيوم calcium carbide لدى اتحاده مع الماء. ويتكون كربيد الكالسيوم باتحاد الكالسيوم مع الكربون.

ويمكن خفض مستوى الإثيلين حول غرف إنضاج الموز بمراعاة ما يلي:

١– استعمال تركيز ١٠٠ ميكروليتر من الإثيلين/لتر من هواء غرف الإنضاج بدلاً من التركيزات الأعلى التي غالبًا ما تستعمل في تلك الغرف.

٢– تهوية الغرف إلى الهواء الخارجي بعد فترة التعريض للغاز وقبل فتح تلك الغرف.

٣– تهوية المنطقة المحيطة بغرف الإنضاج مرة واحدة يوميًّا على الأقل أو وضع ماصٍ للغاز فيها.

٤– تستعمل رافعات شوكية تعمل بالبطارية – بدلاً من الوقود – داخل المخازن.

هذا ويفضل الآن أن تكون حجرات الإنضاج مزودة بوسيلة لدفع الهواء المتحكم في حرارته للمحافظة على تجانس درجة الحرارة في كل المنتج. ومع الهواء المدفوع يتم دفع الإثيلين بتركيز ١٠٠ إلى ١٥٠ ميكرليتر/لتر من الهواء على فترات حسب كل منتج مع إبقاء مستوى ثاني أكسيد الكربون تحت ١٪ بتهوية الحجرات بالهواء الخارجي. وغالبًا ما يتم الإنضاج في حرارة ١٥–٢٥ °م، مع إضافة بخار الماء لكي تبقى الرطوبة النسبية عند ٨٥٪ إلى ٩٥٪ لأجل خفض الفقد الرطوبي من المنتج (Thompson & Kader ٢٠٠٤).

تباين استجابة الثمار للمعاملة بالإثيلين بهدف استكمال نضجها بعد الحصاد

يمكن تقسيم الثمار (الحديث هنا عن ثمار الفاكهة وثمار الفراولة والبطيخ والحرنكش) إلى مجموعتين، كما يلي:

١– ثمار لا يمكنها استكمال نضجها بعد الحصاد:

تتضمن هذه المجموعة الراسبرى والبلاكبرى والفراولة والشيرى وكل الموالح والعنب والأناناس والرمان والحرنكش.

٢– ثمار يمكن حصادها مكتملة التكوين حيث تستكمل نضجها بعد ذلك:

تتضمن هذه المجموعة التفاح والكمثرى والسفرجل والمشمش والنكتارين والخوخ والبرقوق والكيوى والأفوكادو والموز والباباظ والمانجو والسابوديلا والسبوتة والجوافة.

تُنتج ثمار المجموعة الأولى كميات صغيرة جدًّا من الإثيلين ولا تستجيب للمعاملة به باستثناء أنه يخلص الثمار من اللون الأخضر. يجب حصاد ثمار تلك المجموعة وهي مكتملة النضج للحصول على أعلى جودة.

أما ثمار المجموعة الثانية فإنها تنتج كميات أكبر بكثير من الإثيلين أثناء نضجها، وتؤدى معاملتها بالإثيلين إلى زيادة سرعة نضجها مع زيادة تجانس النضج. تجب معاملة الموز بتركيز ١٠–١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين لكى تبدأ فى النضج أثناء النقل وأثناء تواجدها فى مخازن أسواق الجملة. وحاليًا يتم إنضاج جانبًا من ثمار الأفوكادو والكيوى والمانجو والكمثرى قبل التسويق لإعطاء المستهلك فرصة للاختيار بين شرائه للثمار الجاهزة للأكل أو تلك المكتملة التكوين التى يمكن أن تكمل نضجها عند المستهلك.

وإذا ما تأخر بيع الثمار المكتملة النضج فإنها يجب أن تحفظ فى أقل درجة حرارة يمكن أن تتحملها. علمًا بأن الثمار الناضجة من تلك الحساسة للبرودة تتحمل حرارة أكثر انخفاضًا من الثمار المكتملة التكوين غير الناضجة. ويمكن زيادة فترة صلاحية تلك الثمار للتخزين بالتخلص من الإثيلين وخفض تركيز الأكسجين إلى ٣٪–٥٪ (Kader ١٩٩٩).

إن الثمار الكلايمكتيرية تختلف عن غير الكلايمكتيرية فى استجابة كل منهما للمعاملة بالإثيلين، وفى نمط إنتاجها للإثيلين أثناء نضجها. وبينما تنتج جميع الثمار كميات صغيرة من الإثيلين أثناء تكوينها. فإن الثمار الكلايمكتيرية تنتج كميات أكبر — بكثير — من الغاز أثناء نضجها عن الثمار غير الكلايمكتيرية. ويظهر هذا الاختلاف بوضوح — كذلك — فى مستوى الإثيلين داخل أنسجة الثمار خلال مراحل تطورها ونضجها. وبينما يتباين مستوى الإثيلين الداخلى — كثيرًا — فى أنسجة الثمار الكلايمكتيرية، فإن مستوى الغاز لا يتغير إلا قليلاً فى أنسجة الثمار غير الكلايمكتيرية أثناء تطورها ونضجها. وتكفى — عادة — المعاملة بتركيز ٠.١–١.٠ حجم فى المليون (µl/l) لإسراع نضج الثمار الكلايمكتيرية. إلا أن مدى أو مقدار الكلايمكتيريك يعد أمرًا مستقلاً — نسبيًا — عن تركيز الإثيلين المعامل به. وبالمقارنة .. فإن المعاملة بالإثيلين لا تُحدث فى الثمار غير الكلايمكتيرية سوى مجرد زيادة طفيفة — ولفترة قصيرة — فى معدل التنفس، مع توقف مدى أو مقدار الزيادة على تركيز الإثيلين المعامل به. وفضلاً عن

ذلك، فإن تلك الزيادة الطفيفة المؤقتة التى تحدث فى معدل تنفس الثمار غير الكلايمكتيرية عند معاملتها بالإثيلين يقابلها فى الثمار الكلايمكتيرية زيادة وحيدة – وإن كانت كبيرة (الكلايمكتيريك) فى معدل التنفس (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وإنه لمن المعروف أنه مع تكوين ونضج عديد من أنواع الثمار. فإنها تصبح أكثر حساسية للإثيلين. فلبعض الوقت بعد تفتح الزهرة يمكن أن تنتج الثمرة الصغيرة معدلات عالية من الإثيلين. وفى المراحل المبكرة من عمر الثمرة فإن تركيز الإثيلين الذى تعامل به الثمار والذى يلزم لبدء النضج يكون عاليًا، وتكون الفترة اللازمة لاكتمال النضج طويلة، ولكنها تنقص مع نضج الثمرة (جدول ٥–٥) وتعد الطماطم مثالاً على المستوى العالى لتحمل الإثيلين. وفى المقابل فإن الموز والكنتالوب يمكنهما النضج سريعًا بالمعاملة بالإثيلين حتى ولو كانت الثمار غير مكتملة التكوين.

جدول (٥–٥): تأثير النضج على الوقت الذى يلزم لنضج ثمار الطماطم.

درجة اكتمال التكوين عند الحصاد (عدد الأيام من تفتح الزهرة)	عدد الأيام لحين بدء التلون بالأحمر: ثمار معاملة بالإثيلين (معاملة مستمرة بتركيز ١٠٠٠ حجم فى المليون)	عدد الأيام لحين بدء التلون بالأحمر: الكنترول
١٧	١١	لم تنضج
٢٥	٦	لم تنضج
٣١	٥	١٥
٣٥	٤	٩
٤٢	١	٣

الظروف المناسبة لإنضاج بعض الحاصلات البستانية

يعطى جدول (٥–٦): بيانًا بالظروف المناسبة لإنضاج بعض الثمار (عن Wills وآخرين ١٩٩٨، و Jobling ٢٠٠٠).

جدول (٥-٦): الظروف المناسبة لإنضاج ثمار بعض الحاصلات البستانية.

المحصول	الحرارة (° م)	الإثيلين (جزء فى المليون)	مدة المعاملة (ساعة)
الأفوكادو	١٨-٢١	١٠	٢٤-٧٢
الموز	١٨-٢١	١٠	٢٤
الكيوى	١٨-٢١	١٠	٢٤
الكاكى	١٨-٢١	١٠	٢٤
الطماطم	١٣-٢٢	١٠	مستمر
الكمنالوب	١٨-٢١	آثار	—
شهد العسل	١٨-٢١	١٠	٢٤
المانجو	٢٩-٣١	١٠	٢٤
الباباظ	٢١-٢٧	آثار	—
الكمثرى	١٥-١٨	١٠	٢٤

يعمل الإثيلين على إسراع التلون الطبيعى للثمار، وإسراع التحـولات الطبيعيـة للنشـا إلى سكر. وفيما عدا ذلك .. فليس للإثيلين أية تأثيرات أخرى علـى محتـوى المحصـول المعامل به من الفيتامينات، كما أنه ليس له أى تأثير ضار علـى الصـحة. ولا يـترك أى لون أو روائح غير مرغوبة بالثمار.

ويحدد التركيز المناسب من الإثيلين على أساس الحجم الكلى للمخـزن، دون اعتبـار للحيز الذى يشغله المحصول المخزن. ويجب عدم زيادة التركيز أبـدًا عـن ١ : ١٠٠٠ فـى أى من الخضر والفاكهة، كما تجب تهوية المخازن المعاملة من آن لآخـر؛ وذلـك لتـوفير الأكسجين اللازم لتنفس المحصول المخزن. وتجرى التهوية — قبل المعاملـة بـالإثيلين — بفتح الباب والشبابيك لمدة نصف ساعة. ويوصى بمعاملة المخازن بـالتركيز المطلـوب مـن الإثيلين كل ٦ ساعات طوال الفترة المطلوبة للمعاملة.

التخلص من اللون الأخضر بثمار الموالح

إن تركيز الإثيلين الموصى به للتخلص من اللون الأخضر بثمار الموالح هو ١–١٠ أجزاء فى المليون، بينما يلزم تركيز ١٠–١٠٠ جزء فى المليون للإنضاج. وتتراوح فترة التعريض للإثيلين من يوم واحد إلى خمسة أيام حسب درجة اكتمال تكوين الثمار عند حصادها؛ فكلما ازدادت درجة التكوين كلما قصرت فترة المعاملة. وتكفى – عادة – مدة يومين لمعاملة معظم الثمار. ويعد المدى الحرارى الأمثل للإنضاج ١٥–٢٥ ْم، وفى حدود هذا المدى تزداد سرعة النضج بزيادة درجة الحرارة. أما الرطوبة النسبية فيجب أن تبقى بين ٩٠٪، و ٩٥٪. كما يجب أن تكون هناك حركة دوارة للهواء حول المنتج داخل المخزن لتأمين تجانس توزيع الإثيلين. كذلك يجب عدم السماح بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل حجرة الإنضاج لأنه يُضاد تأثير الإثيلين، ويتحقق ذلك بتجديد هواء الغرفة على فترات. كما يمكن وضع جير مطفى بحجرة الإنضاج لامتصاص ثانى أكسيد الكربون الناتج عن تنفس المنتج (Kader & Kasmire ١٩٨٤).

الفصل السادس

محطات التعبئة ومجمل عمليات التداول

تمر الحاصلات البستانية من بعد حصادها ولحين تسويقها أو تخزينها بعديد من العمليات التي تسمى بعمليات التداول أو الإعداد. والغرض منها هو المحافظة على نوعية الحاصلات؛ حتى تصل إلى المستهلك وهي بحالة جيدة، مع تقليل نسبة الفاقد قدر المستطاع.

وقدرت نسبة الفاقد من الخضر في مصر بنحو ٢٨,٨٪ من جملة المحصول الناتج؛ ويرجع ذلك إلى التخلف في تطوير طرق حصاد وتعبئة محاصيل الخضر. ولا تمثل هذه النسبة إلا الثمار الشديدة التلف التي لا تصلح للتسويق. أما الثمار القليلة أو المتوسطة التلف، فإنها تسوق مختلطة بالثمار السليمة في أغلب الأحيان (الإدارة العامة للتدريب — وزارة الزراعة — ج.م.ع. ١٩٨٣).

وإذا ما استبعدت — كذلك — هذه الثمار القليلة والمتوسطة التلف (مثلما يحدث في الدول الأكثر تقدمًا)، فإن نسبة الفاقد يمكن أن تزيد عن ٥٠٪.

ولقد قُدِّر متوسط الفقد العالمي في منتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد بنحو ٥٠٪ مما يتم حصاده؛ ليس فقط بسبب الأضرار والجروح والكدمات عند الحصاد وأثناء التداول، والأضرار الفسيولوجية التي تحدث بسبب الظروف غير المناسبة التي تتعرض لها المنتجات، وإنما كذلك – وبصفة أساسية – بسبب الإصابات المرضية والأعفان التي تصاب بها تلك المنتجات بعد الحصاد خلال فترات بقاء المنتج أثناء التخزين والشحن وفي معارض البيع والمطاعم والمنازل. هذا فضلاً عما يحدث من فقد في القيمة الغذائية ومن تدهور في الجودة (Wilson & Wisniewski ١٩٨٩).

هذا .. وتشمل عمليات الإعداد للتسويق كثيرًا من الخطوات التي يصلح بعضها

لجميع الحاصلات البستانية. ولا يصلح البعض الآخر إلا لحاصلات معينة. كما لا تطبق كل هذه الخطوات فى كل مكان، لكن تطبيق أكثرها يرتبط دائمًا بزيادة الوعى والتقدم الزراعى فى الدولة.

ونتناول بالشرح – فى هذا الفصل والفصول التالية من هذا الكتاب – مختلف عمليات التداول التى تمر بها محاصيل الخضر بعد الحصاد، بادئين – فى هذا الفصل – بعمليات التداول الأولية.

تجرى التعبئة فى الحقل أو فى منشآت خاصة تسمى "بيوت التعبئة"، أو "محطات التعبئة". وتستخدم فى الحقل وحدات ضخمة متنقلة للتدريج والتعبئة تعرف بين العامة باسم "mule machine"، ويشيع استخدامها مع بعض المحاصيل؛ مثل: الخس، والكرفس، والذرة السكرية. وتسير الآلة إلى جانب ماكينة الحصاد أثناء مرورها بالحقل، حيث يصل إليها المحصول ويخرج منها وقد تم غسله وإزالة الأجزاء غير المرغوبة منه، وعُبئ استعدادًا لشحنه (Ware & McCollum ١٩٨٣).

أما بيوت أو محطات التعبئة، فهى منشآت خاصة تقام – عادة – فى وسط مكان الإنتاج أو بالقرب منه، وتجرى فيها معظم عمليات إعداد وتداول الحاصلات البستانية.

وسائل المحافظة على جودة المنتجات البستانية

إن من أهم ما تجب مراعاته للمحافظة على جودة المنتجات عند الحصاد وبعده، ما يلى:

١– إجراء الحصاد فى الصباح عند انخفاض الحرارة.

٢– إبقاء المنتج بعد الحصاد، وكذا سيارات النقل المحملة فى الظل.

٣– تغطية المنتج أثناء النقل لمحطة التعبئة لمنع تعرضه لحرارة الشمس.

٤– إجراء عمليات التدريج والفرز والتعبئة بحرص وعناية.

٥- التبريد بأسرع ما يمكن.

٦- المحافظة على التبريد أثناء التخزين والشحن.

٧- الشحن بأسرع ما يمكن.

٨- توفر حرارة مناسبة للعرض بأسواق البيع بالتجزئة.

وسائل تقليل الأضرار والفاقد من المحصول

من بين التوصيات التى تجب مراعاتها للحد من الأضرار التى يمكن أن تحدث بالمنتج عند الحصاد، ما يلى:

١- تدريب عمال الحصاد على معاملة المحصول برفق.

٢- الحصاد فى مرحلة اكتمال التكوين المناسبة.

٣- إجراء الحصاد بعد زوال الندى قدر الإمكان.

٤- عدم زيادة التداول عما ينبغى، مع إجراء التعبئة الحقلية إن أمكن.

٥- تقيم الأظافر أو ارتداء قفازات قطنية.

٦- تبطين قاع عبوات الحصاد بوسائد طرية.

٧- تبطين قاع وجوانب عبوات الحقل الكبيرة farm bins بوسائد طرية.

٨- التخلص من جميع البروزات والأجزاء الحادة التى قد توجد فى أوعية الحقل.

٩- عدم زيادة ملأ عبوات الحقل الكبيرة عن سعتها.

١٠- تنظيف كل العبوات من الرمل والحصى والنفايات.

١١- عدم تفريغ عبوات الحصاد فى عبوات الحقل الكبيرة من ارتفاع يزيد عن الضرورة، مع الحرص التام عند تفريغ المنتج من عبوة لأخرى.

١٢- عدم ملأ العبوات بأكثر من سعتها لأن بروز المنتج من قمتها يؤدى حتمًا إلى حدوث أضرار جسيمة به عند رص العبوات فوق بعضها.

١٣- يؤخذ فى الاعتبار وقت الحصاد من اليوم إذ إن معظم المنتجات تكون شديدة الامتلاء وأكثر قابلية للخدش فى الصباح.

وعند النقل من الحقل إلى محطة التعبئة يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ما يلى:

١– أن يكون الطريق ممهدًا بصورة جيدة.

٢– أن يقود السائقين سيارتهم بحرص.

٣– أن تكون المساعدين (السُست المتصة للصدمات) بالشاحنة بحالة جيدة.

وفى محطات التعبئة يجب أن يراعى ما يلى:

١– تفريغ عبوات الحقل الكبيرة فى الماء إن أمكن ذلك.

٢– المحافظة على جعل خطوط التعبئة مستوية قدر الإمكان.

٣– التقليل من أى سقوط للمنتج من أى ارتفاعات.

٤– تبطين كل الأسطح والحواف الحادة بوسائد طرية.

٥– العمل بكامل الطاقة الإنتاجية المكنة، مع توقيت تزامن مختلف العمليات.

٦– عدم زيادة تعبئة العبوات عما ينبغى.

٧– وضع المنتج فى بالتات لتجنب تداول العبوات المنفردة، وتعبئة الحاويات بحرص (Wilson وآخرون ١٩٩٩أ).

ما تجب مراعاته فى محطات تعبئة المنتجات السابقة التجهيز

إن من أهم الأمور التى تجب مراعاتها فى خطوط التشغيل بمحطات تعبئة الخضر والفاكهة الطازجة السابقة التجهيز للمستهلك fresh-cut، ما يلى:

١– أن يكون مرور المنتج فى خط التشغيل فى اتجاه واحد دائمًا، ولا يشترط أن يكون هذا الخط مستقيمًا، ولكنه لا يجوز أن يتقاطع مع مراحل سابقة منه.

٢– ضرورة عزل حجرة تقليم وتشذيب المنتج عن حجرة الغسيل والتطهير والشطف بحائط، وألا يكون خط سير المنتج داخل الحجرة الأخيرة مستمرًا ولكن متقطعًا بحيث لا يحدث خلط بين عمليات الغسيل والتطهير والشطف. كما يتعين فصل تلك الحجرة بحائط عن حجرة التعبئة، وهى التى تفصل – بدورها – بحائط عن حجرة تجميع وعرض الكراتين.

٣– التحكم الحرارى فى مختلف حجرات خط التشغيل بما يتناسب مع احتياجات كل عملية. فاستلام المنتج يكون فى حرارة الجو العادى، لكن الحرارة يجب أن تنخفض فى حجرة التقليم والتشذيب إلى ١٢ْم، ويستمر انخفاضها مع تقدم خط التشغيل إلى أن تصل إلى ٤ْم فى حجرة التعبئة، ثم تبقى على تلك الدرجة فى حجرة تجميع وعرض الكراتين.

ولتأمين هذا التحكم الحرارى يتعين مراعاة ما يلى:

أ– الحد من تعرض المنتج لحرارة تزيد عن ١٠ْم.

ب– تبريد المنتج لحرارة صفر–٢ْم قبل تعبئته لضمان بقاءه فى الحرارة المناسبة أثناء التشغيل.

جـ– المحافظة على حرارة صفر–٢ْم أثناء التخزين.

٤– يجب أن يكون تيار هواء التهوية بعكس اتجاه خط التشغيل أى يبدأ من حجرة التعبئة وينتهى فى حجرة التقليم. علمًا بأن التهوية ضرورية للمحافظة على الحرارة المطلوبة، ولمنع تكثف بخار الماء، وانتشار الأتربة باتجاه خط التشغيل.

٥– ضرورة التخلص من المخلفات خارج المحطة أولا بأول، وأن يكون اتجاه حركة التخلص من المخلفات بعكس اتجاه حركة سير المنتج أثناء تقليمه وتشذيبه.

كذلك فإن جميع المعدات والآليات التى تستعمل مع المواد غير المأكولة والمخلفات الناتجة عنها يجب عدم استعمالها مطلقًا مع المنتج، كما يجب أن يكون من السهل غسيلها وتطهيرها (Varoquaux & Mazollier ٢٠٠٢).

تقسيم محاصيل الخضر حسب عمليات التداول المناسبة لها

تقسم محاصيل الخضر إلى ثلاث مجموعات حسب عمليات التداول المناسبة لها؛ كما يلى:

أولاً: الخضر الثمرية:

تخضع الخضر الثمرية – بعد الحصاد – لعمليات التداول التالية:

١– النقل إلى بيوت التعبئة أو مصانع الحفظ.

٢- التنظيف.

٣- الفرز.

٤- التشميع (بالنسبة لكلٍ من الطماطم، والفلفل، والخيار).

٥- التدريج.

٦- التعبئة فى عبوات الشحن.

٧- الرصّ على منصات النقالات (البالتات) palletization ونقلها بالرافعة المشعبة (الشوكية) forklift.

٨- التبريد الأولى (بالماء البارد، أو فى الغرف الباردة، أو بالهواء البارد المدفوع).

٩- التخزين المؤقت.

١٠- التحميل فى وسائل النقل الثقيلة.

١١- التداول فى أماكن الوصول (مراكز التوزيع، وأسواق الجملة ... إلخ).

١٢- التوصيل إلى أسواق التجزئة.

١٣- التداول فى أسواق التجزئة.

١٤- معاملات خاصة؛ مثل الإنضاج بالإثيلين (إما قبل الشحن، وإما فى مكان الوصول النهائى)، والتخزين فى الجو المعدل.

ثانيًا: الخضر الورقية، والساقية، والزهرية:

تخضع تلك المجموعة من الخضروات لعمليات التداول التالية:

١- بالنسبة للخس والخضر الورقية المماثلة له .. تتباين عمليات التداول كما يلى:

أ- عند التعبئة فى الحقل تجرى عمليات: الانتخاب، والقطع (عند الحصاد)، والتقليم والتشذيب، والتعبئة فى صناديق من الكارتون، والنقل إلى جهاز التبريد بالتفريغ، والتبريد، والتحميل، ثم النقل إلى أماكن الوصول النهائية.

ب- بالنسبة للخس أو الكرفس الذى يُلف فى النايلون الشفاف .. يقوم العاملون على الوحدات المتحركة فى الحقل بإجراء عمليات: التقليم، والتغليف بالنايلون، والتعبئة فى صناديق الكارتون، والنقل إلى جهاز التبريد بالتفريغ ... إلخ.

جـ- عند إجراء عمليات التداول فى بيوت التعبئة يتم: انتخاب الرؤوس وحصادها، ونقلها متجمعة إلى بيت التعبئة، حيث تجرى عمليات التقليم، والتعبئة فى صناديق من الكارتون.

٢- بالنسبة لمحاصيل الخضر الأخرى فى هذه المجموعة فإنها تمر بعمليات التداول التالية:

أ- التنظيف والتقليم، مع استعمال الكلور فى ماء التنظيف بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون .

ب- التدريج أحيانًا.

جـ- التبريد الأولى.

د- تغليف الوحدات المفردة، كما فى القنبيط.

هـ- التعبئة، علمًا بأن العبوات غالبًا ما تشمع لكى تتحمل عمليات التبريد بالماء، ووضع الثلج داخل العبوات.

ثالثًا: الخضر الجذرية، والدرنية، والبصلية

تمر محاصيل الخضر فى هذه المجموعة بعمليات التداول التالية:

١- العلاج أو المعالجة.

٢- التنظيف الجاف، أو الغسيل. وإزالة الرطوبة الزائدة.

٣- المعاملة بالمبيدات الفطرية؛ مثل SOPP، و بوتران Botran للبطاطا.

٤- الفرز.

٥- التدريج.

٦- التعبئة.

٧- التحميل على وسائل النقل الثقيل؛ إما وهى فى العبوات، وإما وهى متجمعة للنقل إلى مصانع الحفظ.

٨- التخزين (مع ضرورة التهوية والتبريد).

٩- التداول فى مكان الوصول النهائى؛ مثل التعبئة فى عبوات المستهلك.

١٠– التداول فى أسواق التجزئة.

١١– معاملات خاصة، مثل:

أ– المعاملة بمانعات التبرعم.

ب– التبخير بالمبيدات الحشرية.

جـ– مكافحة القوارض.

العلاج أو المعالجة

تجرى عملية العلاج أو المعالجة Curing لبعض الخضر، كالبصل، والثوم، والبطاطس، والبطاطا. وتعرف هذه العملية فى البصل والثوم باسم التسميط، وتجرى بغرض تقليل نسبة الرطوبة فى الأبصال، فيقل بذلك التلف أثناء التخزين. أما فى حالة البطاطس والبطاطا، فإنها تتم بوضع المحصول بعد الحصاد فى درجتى حرارة ورطوبة نسبية مرتفعتين نسبيًّا لمدة ٥–١٠ أيام، بغرض تكوين طبقة بيريدرم periderm على كلٍّ من الأنسجة السليمة والمجروحة، لوقاية الأنسجة من الإصابات المرضية، وتقليل فقد الماء بالنتح.

المعالجة فى البصل

الغرض من معالجة البصل هو التخلص من الرطوبة الزائدة، وتجفيف رقبة وجذور البصلة وحراشيفها الخارجية. وهى عملية ضرورية فى حالة تخزين المحصول، أو شحنه لمسافات بعيدة، أو حتى فى حالة إعداده للتسويق الطازج، لأنها تقلل من فرصة الإصابة بالأمراض، خاصة مرض عفن الرقبة.

تتم المعالجة فى مصر بنقل النباتات بعد حصادها إلى مكان جيد التهوية مظلل، حيث تُرَصُّ بعضها فوق بعض لارتفاع نحو ½ م فى مراود، مع تغطية الأبصال بأوراق النباتات حتى لا تتعرض للفحة الشمس. وتترك الأبصال بهذا الوضع مدة ٢–٣ أسابيع. يلى ذلك تقطيع العروش بسكين على ارتفاع ١–١.٥ سم من قمة البصلة، وكذلك تقطع الجذور. وأثناء عملية قطع العروش والجذور تفرز الأبصال، ويستبعد غير المرغوب منها.

وهى المصابة بالأمراض، والمجروحة، والحنبوط (أبصال النباتات التى اتجهت نحو التزهير)، والمزّرعة، والمخالفة فى اللون.

ويقوم بعض المزارعين بقطع المجموع الخضرى والجذرى بعد الحصاد مباشرة، ثم تترك الأبصال على هيئة "مسطاح" لبضعة أيام وهى معرضة للشمس، لكن لا ينصح بزيادة فترة التعريض للشمس لأكثر من يومين؛ حتى لا تصاب الأبصال بلفحة الشمس.

ويقوم بعض مزارعى الوجه القبلى بمعالجة البصل بطريقة التسميط، وهى طريقة تتضمن المعالجة مع التخزين المؤقت إلى أن تتحسن الأسعار. فيتم وضع النباتات رأسية ومتجاورة فى مراود مستطيلة ضيقة فى جزء من الحقل. وتغطى جوانب المراود بالتراب، مع الحرص على تغطية كل الأبصال الظاهرة، ويترك المجموع الخضرى معرضًا للشمس والهواء. تترك النباتات على هذا الوضع إلى أن يجف المجموع الخضرى، أو إلى أن تتحسن الأسعار؛ حيث يُزال التراب، وتقطع الأوراق والجذور.

وتتوقف المدة التى تستغرقها عملية العلاج على الظروف الجوية. ونظرًا لأن الجو يكون جافًا والحرارة مرتفعة وقت الحصاد فى مصر؛ لذلك فإنها لا تستغرق أكثر من ٢–٣ أسابيع. ولكن تزداد الفترة إلى ٤ أسابيع أو أكثر فى المناطق الأكثر برودة أو رطوبة، كما قد يتطلب الأمر استخدام تيار من الهواء الدافئ الجاف فى المعالجة فى المناطق الباردة الرطبة. وللإسراع فى المعالجة يمكن وضع الأبصال فى أجولة واسعة المسام فى مخازن يمر بها تيار من الهواء الدافئ حرارته ٤٨°م لمدة ١٦ ساعة (مرسى وآخرون ١٩٧٣).

ويفضل دائمًا عدم قطع المجموع الخضرى إلا بعد تمام إجراء عملية العلاج التجفيفى؛ تلافيًا لتعرض الأبصال للإصابة بأمراض العفن (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

وفى كاليفورنيا يبدأ العلاج فى الحقل بمنع الرى قبل الحصاد. وبتقطيع الجذور تحت الأبصال. فهذه عوامل تسرع من عملية العلاج. والواقع أن ترك البصل فى الحقل

بعد تقليعه يعد معالجة، كذلك يعتبر من المعالجة ترك البصل فى أجولة أو فى كومات فى الحقل. ويعتبر ذلك كافيًا إذا كانت الظروف الجوية مناسبة.

أما إذا أجرى الحصاد قبل عملية العلاج، أو إذا نقلت الأبصال قبل علاجها — بسبب ارتفاع الرطوبة الجوية أو انخفاض درجة الحرارة وقت الحصاد — فإنه يمكن فى هذه الحالة إجراء المعالجة بدفع تيار من الهواء الدافئ بين الأبصال. ويمكن للأبصال أن تتحمل حرارة ٤٦–٤٧°م لمدة ١٢–١٤ ساعة، دون أن يحدث لها أى ضرر. وتتم المعالجة بدفع تيار من الهواء حرارته ٣٢–٣٥°م بمعدل ١–٢م^3 فى الدقيقة لكل م^3 من حيز المخزن، ويستمر ذلك لمدة ١–١٤ يومًا حسب درجة نضج الأبصال عند بدء العلاج. وإذا لم تكن درجة حرارة الهواء مرتفعة لهذا القدر، فإنه يمكن إسراع عملية المعالجة بزيادة سرعة دفع الهواء خلال الأبصال. ويحسن أن تكون الرطوبة النسبية للهواء من ٦٠٪–٧٠٪. ورغم أن الرطوبة النسبية الأقل من ذلك تسرع التجفيف، إلا أنها تجعل الحراشيف رديئة اللون، وتؤدى إلى فقد نسبة كبيرة منها، فى حين أن الرطوبة النسبية الأعلى من ذلك تقلل من سرعة التجفيف، وتزيد من فرصة الإصابة بالأمراض. ويمكن أن تتم هذه العملية أثناء تكويم البصل فى المخازن (Voss ١٩٧٩).

وتعتبر عملية المعاجلة تامة عندما تصبح رقبة البصلة تامة الالتئام والحراشيف الخارجية جافة تمامًا لدرجة أنها تعطى صوتًا مميزًا (rustle) عند احتكاك بعضها ببعض. وتصل الأبصال إلى هذه الحالة بعد أن تفقد نحو ٣٪–٥٪ من وزنها.

علاج درنات البطاطس

جرى العرف فى مصر — منذ زمن بعيد — على أن تبدأ عملية علاج درنات البطاطس فى الحقل، بتسوية جزء منه، ثم ينثر أحد المبيدات التى تستخدم فى طرد الفئران ومكافحة فراشة درنات البطاطس — مثل السيفين ١٠٪ — على الأرض. ثم توضع فرشة من قش الأرز النظيف، ويلى ذلك تحديد موضع كومة الدرنات بواسطة بالات أرز. توضع البالات فى شكل مستطيل تفرغ بداخله الدرنات من عبوات الحقل إلى ارتفاع

٣٠سم، ثم تغطى بقش الأرز الجاف النظيف لارتفاع ٧٠–١٠٠سم. وتعفّر طبقات القش بالمبيد، مع مراعاة عدم تعفير الدرنات نفسها؛ لأن ذلك يمنع التئام الجروح. فضلاً على تلويثها بالمبيد، كما يُعفّر القش من الخارج.

وتستغرق عملية العلاج التجفيفى تحت هذه الظروف مدة ١٠–١٥ يومًا. ويعرف انتهاء العلاج بصعوبة إزالة قشرة الدرنة بالإبهام. ويراعى عدم تغطية الدرنات بعروش النباتات؛ حتى لا تكون مصدرًا لانتشار عديد من الأمراض. ويعقب العلاج عملية فرز الدرنات لاستبعاد التالف والمصاب منها.

كانت تلك هى الطريقة المتبعة – والموصى بها من قبل وزارة الزراعة – لعلاج درنات البطاطس، وهى طريقة فعّالة ومأمونة؛ إذ لا يُفترض – عند الالتزام بخطواتها – عدم وصول المبيد إلى الدرنات ذاتها. ولكن – بكل أسف – اتجه منتجو البطاطس إلى تعفير البطاطس ذاتها بالمبيدات – سعيًا وراء مزيد من الأمان ضد الإصابات الحشرية – وهو أمر له خطورته وآثاره السلبية الكبيرة على الصحة العامة.

ولهذا السبب – ومع انتشار الثلاجات – أصبح من المفضل إجراء عملية العلاج التجفيفى لدرنات البطاطس فى الثلاجات قبل بداية التخزين بالطريقة التالية:

يتم أولاً تجفيف الدرنات من أية رطوبة حرة قد توجد عليها بإمرار تيار من الهواء الدافئ نسبيًا حولها، ويستمر ذلك عدة ساعات لحين اكتمال عملية التجفيف السطحى. تعد هذه الخطوة ضرورية؛ لأن الدرنات التى يوجد عليها ماء لا تستجيب لعملية المعالجة، وتكون أكثر تعرضًا للإصابة بالعفن.

تبدأ بعد ذلك عملية العلاج التجفيفى التى تستمر لمدة أسبوع، تبقى خلاله الدرنات فى حرارة ١٠–١٥°م، ورطوبة نسبية من ٨٥٪–٩٥٪.

وتعتبر هذه الظروف اختيارًا وسطًا ما بين الظروف التى تناسب درنات البطاطس، وتلك التى تناسب سرعة اكتمال عملية المعالجة بتكوين بيريدرم الجروح. وترسيب

السيوبرين، فكلاهما يكون أسرع فى حرارة ٢١ °م، إلا أنه لا ينصح بذلك، حتى لا تتعفن الدرنات فى هذه الحرارة المرتفعة قبل إتمام عملية العلاج، كما أن درنات البطاطس تناسبها رطوبة نسبية أقل من ٨٥٪، إلا أنه لا ينصح بذلك قبل انتهاء عملية المعالجة لتقليل فقد الماء من الدرنات إلى أدنى مستوى ممكن خلال تلك الفترة التى تفقد فيها الدرنات رطوبتها بسهولة، إلى أن يتكون بيريدرم الجروح، ويترسب السيوبرين. وبرغم أن الرطوبة النسبية الأعلى من ٩٥٪ تقلل من فقد الماء بدرجة أكبر، إلا أنه لا ينصح بها حتى لا يتكثف الماء على الدرنات (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

علاج جذور البطاطا

يعد علاج جذور البطاطا أمرًا ضروريًّا حتى يمكن تخزين الجذور بحالة جيدة لفترة طويلة. ويجب أن يبدأ العلاج فى نفس يوم الحصاد؛ ويكون ذلك بوضع الجذور فى حرارة ٢٩ °م ورطوبة نسبية ٨٥٪ لمدة حوالى ٥–٨ أيام مع التهوية الجيدة؛ لمنع تكثف الرطوبة على الجذور (Covington وآخرون ١٩٥٩).

ويلاحظ أن فترة العلاج تطول بدرجة كبيرة مع انخفاض درجة الحرارة. فبينما لا تستغرق أكثر من ٥–٨ أيام فى حرارة ٢٩ °م، فإنها تستغرق ٤ أسابيع إذا أجريت فى حرارة ٢٤ °م، ويزداد معها الفقد فى الوزن، وقد تظهر نموات جديدة sprouts بالجذور. ولا تحدث أية معالجة فى حرارة ١٦ °م أو أقل. وتعمل درجات الحرارة المرتفعة على سرعة تكوين فلين الجروح Wound Cork، كما تعمل الرطوبة النسبية المرتفعة على سرعة التئام الجروح بتشجيع تكوين فلين الجروح، وتقليل انكماش الجذور بتقليل فقد الرطوبة منها.

وتفقد الجذور أثناء علاجها نحو ٥٪–١٠٪ من وزنها. ويرجع معظم الفقد فى الوزن إلى فقد الرطوبة، بينما ترجع نسبة قليلة من الفقد إلى تنفس الجذور. وللتأكد من أن عملية العلاج قد تمت بالفعل يُجْرَى اختبار حك جذرين كلٌّ منهما بالآخر، فإذا انسلخ الجلد بسهولة، كان ذلك دليلاً على أن العلاج لم يستكمل بعد (Greig ١٩٦٧).

هذا .. ويلخص جدول (٦-١) الظروف المناسبة لإجراء عملية العلاج فى محاصيل الخضر.

جدول (٦-١): الظروف المثلى لإجراء عملية العلاج فى محاصيل الخضر (عن Brecht ٢٠٠٣).

المحصول	الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (٪)	الفترة (يوم)
البطاطس	١٥-٢٠	٨٥-٩٠	٥-١٠
القلقاس	٣٤-٣٦	٩٥	٥
البطاطا	٢٩-٣٢	٨٥-٩٠	٤-٧
اليام	٣٠-٣٥	٩٥-١٠٠	٣
الكاسافا	٣٠-٣٥	٨٥-٩٥	٤-٧
البصل والثوم	٣٥-٤٥	٦٠-٧٥	٠,٥-٣[أ]

(أ) المعالجة بالهواء الدافئ المدفوع خلال الأبصال.

مجمل عمليات التداول

تجميع المحصول ونقله إلى محطات التعبئة

يلى الحصاد مباشرة تجميع المحصول فى كل مكان مظلل ذى تهوية جيدة لحين نقله إلى محطات التعبئة. ويعتبر التظليل ضروريًا لتجنب إصابة المحصول بلفحة الشمس. كما أن التهوية ضرورية لتجنب ارتفاع الحرارة نتيجة لتراكم الطاقة الحرارية الناتجة من التنفس؛ ويتحقق ذلك بترك المحصول تحت مظلات فى الحقل. ويلى ذلك نقل المحصول إلى محطات التعبئة أو إلى مصانع الحفظ.

التفريغ

عند وصول شاحنات مختلف المنتجات البستانية إلى محطة التعبئة، فإنها يجب أن تنتظر فى الظل لمنع سخونة المنتجات وإصابتها بلسعة الشمس، ومع تفريغ الشاحنات

فى أسرع وقت ممكن. وعند تفريغ حمولات الثمار فإن ذلك يمكن أن يتم يدويًا (كما فى الكوسة والباذنجان وبعض أصناف الكنتالوب والخيار والبطيخ)، أو أن تفرغ على منحدر جاف مُدثَّر (كما فى الكنتالوب وشهد العسل والفلفل الحلو)، أو على سيور ناقلة (كما فى الطماطم)، أو تانكات مملوءة بالماء المتحرك لتقليل الأضرار الفيزيائية (كما فى شهد العسل والطماطم والفلفل).

هذا مع العلم بأن التفريغ على المنحدرات الجافة يعرض الثمار لأضرار ميكانيكية شديدة، مثل الخدوش، والكدمات، والكشط، والتفلقات.

ويجب أن تكون حرارة الماء فى تانكات تفريغ المحصول أعلى قليلاً عن حرارة المنتج ذاته لمنع اندفاع الماء إلى داخل الثمار من خلال الخدوش وموضع اتصال الثمار بالعنق، مع ما يعنيه ذلك من زيادة احتمالات وصول الكائنات المسببة لأعفان الثمار ولأمراض الإنسان إلى داخل الثمار ذاتها. كما يجب كلورة الماء فى تلك التانكات. وقد يمكن إجراء تلك العملية فى تانكين يفصل بينهما غسيل الثمار رشًا بماء نظيف لأجل تحسين إجراءات النظافة والصحة العامة (VRIC ٢٠٠٧).

التنظيف الجاف

تنظف ثمار بعض الخضر، مثل القاوون، والخيار، والبطاطا – وغيرها من الخضر الثمرية والدرنية – بالفُرش brushing، بدلاً من الغسيل. كما تُجرى عملية الفرز لاستبعاد الثمار التالفة، والمصابة بالأمراض والحشرات، والتى توجد بها عيوب فسيولوجية ظاهرة. وتحتاج الخضر الجذرية – كذلك – إلى عملية تجفيف لإزالة الرطوبة الزائدة.

الغسيل والتطهير والتخلص من الحشرات

تُجرى عملية الغسيل على كثير من الخضروات والفاكهة قبل تعبئتها، كما فى الخضروات الجذرية، والأسبرجس، والكرفس، والخس، والسبانخ .. وغيرها. ويؤدى

الغسيل إلى التخلص من الأتربة والطين. ويكسب الحاصلات مظهرًا جذبًا، ويحميها من الذبول، وقد يزيل بعض المبيدات.

وتغسل الحاصلات يدويًا، أو بواسطة خراطيم على المناضد. أو فى أحواض. أو أتوماتيكيًا بواسطة رشاشات تمر الحاصلات من تحتها على سيور أو شبكة سلكية متحركة.

ومن عيوب عملية الغسيل أنها تعمل على تشجيع النموات الفطرية والبكتيرية، وخاصة عند تعبئة المنتجات بعد ذلك فى أوعية مغلقة، وشحنها لمسافات بعيدة بدون تبريد.

وإذا أُعيد استخدام الماء المستعمل فى الغسيل — كما هى الحال فى الماء المثلج الذى يستعمل فى التخلص من حرارة الحقل — فإنه يصبح شديد التلوث بالميكروبات التى تسبب العفن؛ ولذا .. تضاف إلى ماء الغسيل بعض المواد المطهرة غير الضارة بالإنسان؛ مثل: الكلور بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون فى صورة محاليل هيبوكلوريت hypochlorite.

وتحتوى رؤوس الخس أحيانًا على أفراد حية من حشرة المنّ *Myzus persicae*، فى الوقت الذى تتطلب فيه الدُّوَل المستوردة للخس أن تكون الرسالة خالية تمامًا من حشرات المنّ الحية.

وبالرغم من أن التبخير ببروميد الميثايل أو بسيانيد الأيدروجين يقتل الحشرة، إلا أن ذلك يُحدث أضرارًا كثيرة فى أوراق الخس. كما وجد أن المركب القابل للتطاير ethyl formate يقتل المنّ دون الإضرار بالخس. إلا أن المعاملة به لا تؤدى إلى التخلص من المنّ بنسبة ١٠٠٪. فضلاً على أنه لم يرخص باستعمالها لهذا الغرض.

وقد وجد Aharoni وآخرون (١٩٨٦) أن خفض الضغط الجوى حول رؤوس الخس إلى ٢,٦٦ كيلو باسكال kPa لمدة ٧٢ ساعة أدى إلى التخلص الكامل من حشرة المنّ، دون إحداث أية تغيرات سلبية فى نوعية الخس. هذا .. ونتعرض بالشرح — فى الفصل الثامن — لموضوع خفض الضغط بالتفريغ؛ كوسيلة من وسائل التبريد الأولى للحاصلات البستانية.

إزالة الأجزاء الزائدة

تتم إزالة الأجزاء الزائدة trimming أثناء مرور الحاصلات على سيور متحركة، حيث تُزال الأوراق التى يلتصق بها الطين والأوراق المتحللة والمصابة بالأمراض، والتى تغير لونها فى الكرفس، والخس، والسبانخ وغيرها من الخضر الورقية. ويؤدى ذلك إلى تحسين مظهر المحصول. كما تؤدى إزالة الأوراق المصابة بالأمراض إلى تقليل انتشار هذه الأمراض أثناء الشحن والتسويق.

وعند تسويق الكرفس يقطع المجموع الخضرى إلى طول ٤٠ سم، ويؤدى ذلك إلى التوفير فى العبوات وفى تكاليف الشحن. وتُزال بعض الأوراق المسنة الخارجية فى المحاصيل الجذرية، وأحيانًا تقطع كل الأوراق، لكن يراعى ترك بعض الأوراق المغلفة Wrapper Leaves للحماية فى بعض الخضروات، مثل: الخس، والكرنب، والكرفس، مع إزالة ما يذبل منها بعد ذلك قبل عرضها فى الأسواق. هذا .. وتقلم الجذور فى المحاصيل الورقية، كالخس، والسبانخ، والكرفس (Ware & MaCollum ١٩٨٣).

التحجيم الأولى

تستبعد الثمار التى يقل حجمها عن حد معين يدويًا أو آليًا بالاستعانة بسير متحرك لهذا الغرض.

الفرز

تجرى عملية الفرز sorting بإمرار الحاصلات أمام العمال على ارتفاع مناسب، حيث تعزل النباتات أو الثمار المصابة بالأمراض أو الحشرات، وكذلك الثمار الذابلة، والزائدة النضج، وغير المنتظمة الشكل، والمخالفة فى اللون، والصغيرة جدًا فى الحجم.. وتتوفر آلات إليكترونية لفرز الثمار على أساس اللون.

المعاملة بالمطهرات الفطرية

تحتاج بعض الخضروات إلى المعاملة بالمطهرات الفطرية، ونتناول هذا الموضوع بالتفصيل فى الفصل التاسع.

الربط في حزم

تُربط بعض الخضروات فـى حِـزَم bunching، كما فـى الكـرفس، والأسـبرجس، والبصل الأخضر، والبروكولى، والبنجر، والجزر، والفجل؛ وذلك بغرض تسهيل تداولها عند البيع. ويشترط تساوى نباتات كل حزمة فى الحجم، وتشابهها من حيث الشكل واللون.

التدريج والتحجيم والتقسيم إلى رتب

لا يقتصر التدريج grading على تقسيم الحاصلات إلى درجات على أساس الحجم — وإن كان ذلك مهمًا — بل يتعداه إلى التقسيم إلى درجات متجانسة فى الشكل، واللـون، ودرجة النضج، وكل الصفات المؤثرة على مظهر ونوعية المنتج.

ومن أهم مزايا التدريج ما يلى:

١– تسهيل عملية البيع والتسويق.

٢– يساعد على تقليل نسبة الفقد فـى المحصـول؛ نظـرًا لتجنـب تعبئـة الثمـار فـى درجات مختلفة من النضج معًا.

٣– يعتبر أمانًا للمستهلك ضد الغش والتزييف.

٤– تسهل المقاضاة القانونية فى حالة وجود خلاف بين المتعاملين فى إنتاج وتسـويق الحاصلات؛ فتعتبر مقاييس التدريج لغة واحدة يتفق عليها منتج الحاصـلات البسـتانية وبائعها.

هذا .. وليس لمقاييس التدريج أية علاقة برغبات المستهلك أو بالقيمة الغذائية، وإنما هى تعتمد على المظهر العام، والحجم، والصفات المميزة للصنف، والخلو من العيوب.

وعند وضع مقاييس التدريج، فإنه يجب تقليل عدد الدرجات grades إلى أقـل عـدد ممكن، مع جعل المواصفات واضحة دون استعمال مصطلحات كثيرة معقدة.

ومع زيادة مسافة الشحن وبُعْد مكان التسويق عن مكـان الإنتـاج يلـزم إعطـاء عنايـة

لعملية التدريج؛ بحيث لا تكون الفرصة مواتية إلا لتصريف أحسن الدرجات بسبب زيادة تكاليف التسويق، وارتفاع الأسعار.

ويدخل ضمن شروط التدريج الجيد وضع مواصفات للحزم بالنسبة للخضروات التى تُربط فى حزم، وطريقة ترتيب المنتجات فى العبوات، ودرجة التجانس فى الحجم، ودرجة ملء العبوة، والحدود المسموح بها فى مخالفة شروط التدريج والتعبئة.

وقد وضعت منظمة التعاون الاقتصادى والتطور Organization for Economic Co-operation and Development فى باريس مقاييس دولية لتدريج الخضر والفاكهة نشرتها خلال الفترة من ١٩٧٠ إلى ١٩٧٧. وتقع فى ٨٧٢ صفحة مزودة بالصور الملونة لكل الصفات التى شملتها هذه المقاييس.

ولا توجد بمصر رتب خاصة لتصنيف وتدريج الحاصلات البستانية إلا لأغراض التصدير.

وقد اقترحت الإدارة العامة للتدريج بوزارة الزراعة الرتب التالية:

١– رتبة ممتازة: ويفضل عدم تسعيرها، مع تركها حسب رغبات المستهلكين.

٢– رتبة أولى: ويشترط فيها التجانس التام، مع الخلو من العيوب والأضرار المرضية والحشرية.

٣– رتبة درجة ثانية: لا تزيد فيها نسبة العيوب التجارية على ٥٪.

٤– رتبة درجة ثالثة: تتراوح فيها نسبة العيوب التجارية بين أكثر من ٥٪ و ١٥٪.

٥– رتبة درجة رابعة: تتراوح فيها نسبة العيوب التجارية بين أكثر من ١٥٪ و ٢٥٪

التشميع

يجرى التشميع Waxing بتغطية مسطح بعض الحاصلات الثمرية والجذرية بطبقة رقيقة من شموع خاصة بغرض تحسين مظهرها، وتقليل سرعة فقدها للماء، وبالتالى

تأخير ذبولها. ومن الحاصلات التى نجح تشميعها: الطماطم، والفلفل، والخيار، والقاوون، والجزر، والروتاباجا، والبطاطا، والبطاطس. وعند المعاملة يجب أن تكون الثمار أو الجذور نظيفة وخالية من الجروح وطازجة. وقد يجرى التشميع قبل التدريج أو بعده، وقد تضاف المبيدات الفطرية إلى الشموع؛ الأمر الذى يجب أن يوضح على العبوة.

وتوجد الشموع فى صور مختلفة، منها: المستحلبات المائية، والمحاليل الهيدركربونية، وهى تستعمل رشًا، أو بغمر المحصول فيها. ويعد شمع الكارنوبا Carnuba wax من الشموع الشائعة الاستعمال والمقبولة حتى مع المنتجات العضوية.

ومن الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن .. وجد أن تشميع ثمار شهد العسل بالشمع التجارى ستروسيل Citruseal بتركيز ٥٠٪ أو ٨٠٪ (بالحجم من الشمع فى الماء) أدى على خفض الفقد فى الوزن بعد التخزين لمدة ستة أسابيع على حرارة ٣ أو ٦ °م، وإلى خفض أضرار البرودة على ٣ °م. لكنه لم يكن مؤثرًا فى منع الإصابة بأعفان الثمار.

ونتناول موضوع التشميع بالتفصيل فى الفصل التاسع.

التعبئة والتغليف

يقصد بالتعبئة وضع الثمار فى عبوات ذات مواصفات خاصة. أما التغليف، فهو لف كل ثمرة على حدة فى أغلفة من البلاستيك الشفاف المنفذ أو نصف المنفذ للغازات والتى تلتصق بالثمار shrink-wrap كبديل للتشميع، وذلك قبل وضعها فى العبوات، كما فى الخيار، والخس، والقنبيط، والبروكولى.

وتهدف عملية التعبئة إلى تحقيق المزايا التالية:

١– تسهيل نقل المحصول من مكان الإنتاج إلى مكان التسويق.

٢– حماية المحصول أثناء النقل والتداول.

٣– المحافظة على نظافة وتحسين مظهر المنتج.

٤– تحديد وحدة التسويق وهى العبوة.

٥– يعطى عدد العبوات فكرة عن كمية المحصول.

٦– تعتبر العبوات وسيلة لكتابة العلامة المميزة، وتعليمات الشحن، والإجراءات القانونية، والدعاية.

ونتناول موضوع التعبئة والعبوات بالتفصيل فى الفصل السابع.

تجهيز البالتات

تجمع العبوات بعد التعبئة فى وحدات أكبر على "باليتات" أو "طبال خشبية" pallets؛ فيما يعرف باسم palletizing أو unitizing؛ وذلك ليسهل حمل كل منها آليًّا بواسطة الأوناش.

التبريد المبدئى أو الأولى

تجرى عملية التبريد المبدئى أو الأولى pre-cooling للتخلص من حرارة الحقل وخفض حرارة المنتجات بعد الحصاد مباشرة بغرض إبطاء التنفس ومعدل التدهور. وللتفاصيل الخاصة بهذه العملية يراجع الفصل الثامن.

الإنضاج الصناعى

يستخدم الإثيلين على نطاق واسع فى الإنضاج الصناعى للخضر والفاكهة. وقد أسلفنا تناول هذا الموضوع بالتفصيل فى الفصل الخامس.

ويعد الأستيلين acetylene هو بديل الإثيلين الأكثر شيوعًا فى إنضاج الثمار. وهو ينتج فى جميع الدول النامية باستخدام كاربيد الكالسيوم لأنه أقل تكلفة من مصادر الإثيلين، وأكثر من الإثيلين سهولة فى الاستخدام فى حجرات الإنضاج. ويعد كربيد الكالسيوم ناتج ثانوى لمصانع الحديد والصلب ويحتوى على شوائب كثيرة. وعندما يكون كربيد الكالسيوم نقيًّا فإن كل كيلوجرام واحد منه ينتج ٣٠٠ لتر من غاز الأسيتلين. ينطلق الغاز عندما يتعرض كربيد الكالسيوم للرطوبة. وقد يكون هذا التفاعل بين المادة

والماء عنيفاً؛ ولذا يتم لف كميات صغيرة منه (جرامات قليلة) فى ورق صحف ثم تركها بين الثمار (مثل أصابع الموز) فى حجرات الإنضاج (نظراً لتوفر رطوبة عالية فى تلك الحجرات فإنها تتفاعل مع كربيد الكالسيوم لينطلق غاز الأسيتلين ببطء. وإذا ما رُغب فى إنتاج كميات كبيرة من الأسيتلين فإن كميات صغيرة من كربيد الكالسيوم تُسقط بحرص فى دلو كبير به ماء.

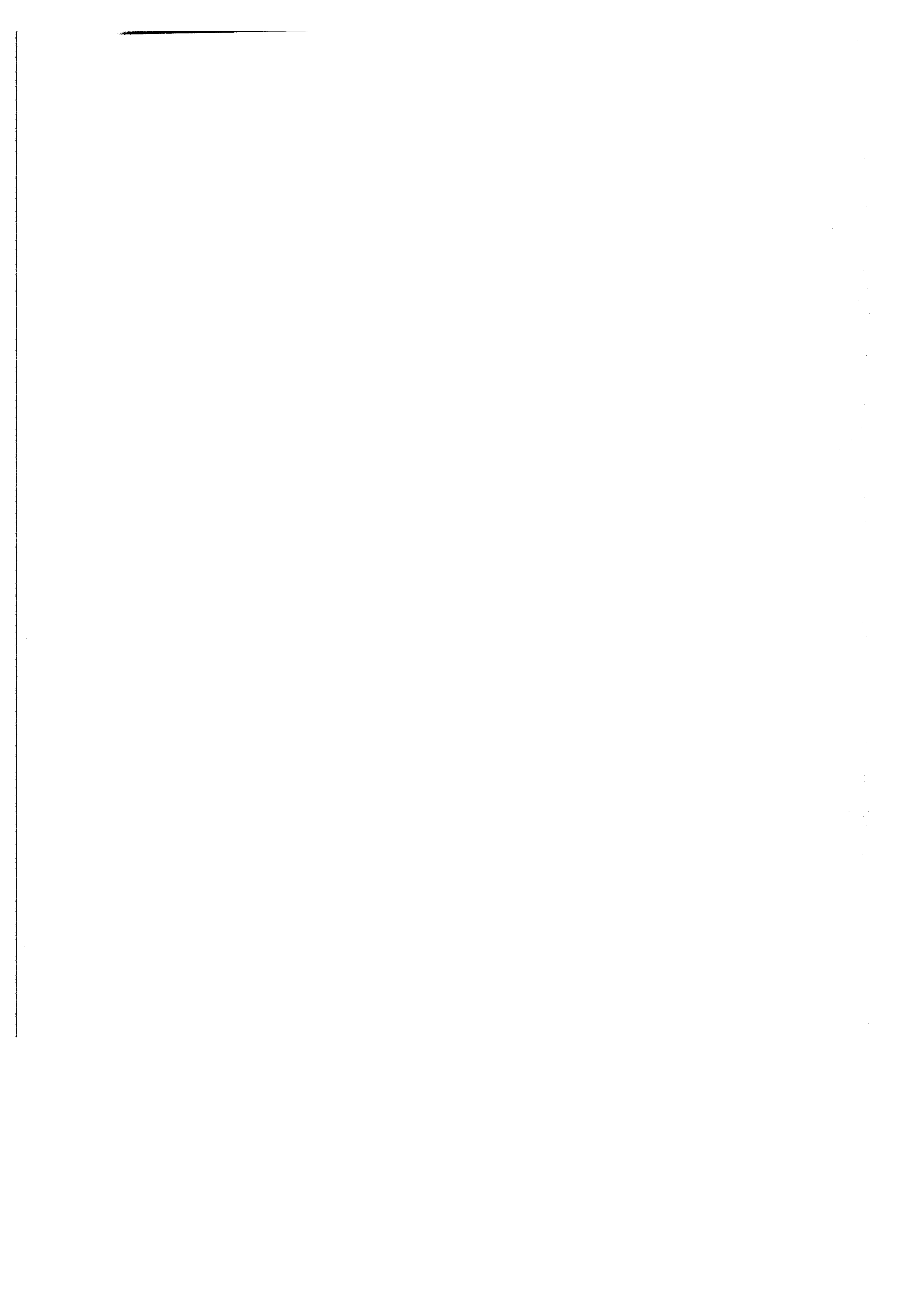
يجب توخى الحرص التام عند إنتاج الأسيتلين. فيجب على القائم بالعمل ارتداء ملابس واقية وقناع واق، وأن يترك الحجرة بمجرد بدء التفاعل المطلوب. كذلك يجب وضع يافطات تحذيرية مع عدم توليد أى شرارة بالمكان.

هذا .. وتعرف وسائل أخرى بدائية للإنضاج الصناعى منها ما يلى:

١- إحراق أى مادة ينتج عن حرقها دخان كثيف فى حجرة الإنضاج؛ ذلك لأن الدخان ينطلق معه عدة غازات، منها الأسيتلين. والإثيلين. وأول أكسيد الكربون، وجميعها يمكنها حث النضج.

٢- إحداث ضرر ميكانيكى بالأنسجة القريبة من الثمرة (مثل الساق الحاملة لكفوف الموز) أو حتى بالثمرة نفسها، ولكنها طريقة تضر بالثمار بطبيعة الحال.

٣- وضع ثمار ناضجة منتجة للإثيلين مع الثمار غير الناضجة التى يُرغب فى إنضاجها (عن Thompson ٢٠٠٣).



الفصل السابع

التعبئة والعبوات

أنواع العبوات حسب الغرض من استعمالها

توجد أربعة أنواع رئيسية من العبوات حسب الغرض من استعمالها؛ وهى: عبوات الجمع، وعبوات الحقل، وعبوات النقل أو الشحن، وعبوات المستهلك.

١- عبوات الجمع:

هى العبوات التى يجمع فيها المحصول. وتستخدم لذلك فى مصر الأقفاص الجريد، والسلال، والمقاطف، والقفف المصنوعة من ليف النخيل أو المطاط.

ويفضل استخدام الجرادل البلاستيكية أو المعدنية. هذا .. ولا تستخدم عبوات الجمع والحقل مع المحاصيل الرهيفة التى لا تتحمل كثرة التداول؛ مثل: الفراولة؛ حيث تعبأ فى عبوات النقل مباشرة.

٢- عبوات الحقل:

هى العبوات التى يُفَرَّغُ فيها المحصول من عبوات الجمع لنقلها إلى بيوت التعبئة أو إلى الأسواق. وتستخدم لذلك فى مصر أقفاص الجريد الكبيرة التى تسمى بـ "العدَّايات"، وتبلغ سعة كل منها ٢٠-٣٠ كيلوجرام. ويفضل استخدام العبوات البلاستيكية (البرانيك).

٣- عبوات النقل أو الشحن:

هى العبوات التى تشحن فيها الثمار إلى مناطق الاستهلاك. وتستخدم لذلك فى مصر "الزكايب" الجوت سعة ٤٠-٦٠ كيلوجرامًا فى نقل الفاصوليا الخضراء، والبسلة الخضراء، والفول الأخضر، والفلفل، والبامية، وأقفاص الجريد "العدَّايات" سعة ٢٠-٣٠ كيلوجرامًا فى نقل الطماطم. وتستخدم أجولة القطن سعة ٧٥ كيلو

جرامًا فى نقل الباذنجان، لكن جميع هذه العبوات تحدث أضرارًا كبيرة بالمحصول، وتلفيات تصل إلى ٢٠٪–٣٠٪، لهذا يتعين أن تحل العبوات البلاستيكية محل هذه العبوات جميعها.

٤– عبوات المستهلك:

عبوات المستهلك هى التى تباع بها الخضروات للمستهلك مباشرة، ومنها: الأكياس البلاستيكية، والشبكية، والورقية، والمصنوعة من القماش، وكذلك أوعية الكارتون أو الورق المقوى المغطى ببلاستك شفاف.

ومن أهم مميزات استعمال عبوات المستهلك ما يلى:

١– تقليل الحاجة إلى العمالة فى محلات البيع؛ لقيام المشترى بخدمة نفسه بنفسه.

٢– تقليل الفاقد؛ وذلك بحفظ الحاصلات لمدة أطول، وبتقليل الأضرار التى تحدث لها – عادة – مع كثرة التداول أثناء النقل والبيع.

٣– تقليل وقت إعداد الحاصلات للطهى أو الاستعمال.

٤– زيادة المبيعات.

هذا .. وتتم التعبئة فى عبوات المستهلك؛ إما فى مكان الإنتاج، وإما قبل العرض للبيع مباشرة. ومن مميزات التعبئة فى مكان الإنتاج: التخلص من كل الأجزاء النباتية التى لا تستعمل فى الغذاء، وتقليل تداول المحصول بتجنب تعبئته مرتين، وبالتالى تقليل التكاليف والأضرار الميكانيكية. لكن يعيب ذلك احتمال تطرق العفن إلى المنتج عند شحنه لمسافات بعيدة.

مواصفات العبوات الجيدة

إن من بين أهم المواصفات التى يجب أن تتوفر فى العبوات، ما يلى

١– المتانة؛ حتى تتحمل عمليات التداول.

٢– القدرة على التوصيل الحرارى؛ حتى يمكن تبريد محتوياتها بسرعة.

٣– النفاذية للغازات؛ حتى تسمح بتنفس الخضروات بداخلها.

٤– عدم التأثر بالرطوبة الجوية أو بالبلل.

٥– التقليل من فقد الثمار لرطوبتها.

٦– حجب الضوء فى حالة تعبئة محصول مثل البطاطس؛ حتى لا يَحْدُث اخضرار للدرنات.

٧– سهولة تداولها وترتيبها؛ حتى تأخذ أصغر حيز أثناء الشحن.

٨– حسن المظهر الخارجى ومظهر ترتيب المحصول بداخلها.

٩– التوافق مع متطلبات السوق من حيث الوزن والشكل والحجم.

١٠– سهولة فتحها وإغلاقها.

١١– رخص ثمنها؛ حتى لا ترفع من سعر المحصول.

١٢– ألا تحتوى مادة العبوة على مواد ضارة بالإنسان.

١٣– ألا تكون عميقة؛ حتى لا تتسبب فى حدوث أضرار ميكانيكية بالثمار.

العبوات الشائعة الاستعمال عالميًّا

من بين أكثر أنواع العبوات شيوعًا، ما يلى:

البالتات pallets

إن البالتات – بمعناها الحرفى – ليست بعبوات، وإنما هى قواعد خشبية تنقل عليها معظم المنتجات الطازجة إلى المستهلك. وغالبًا ما تصنع البالتات من أخشاب رخيصة نسبيًّا – نظرًا لأنه يتم الاستغناء عنها بعد استعمال واحد. ولقد أصبحت أبعاد البالتات القياسية ١٠٠ × ١٢٠ سم. وشجع الاستقرار على أبعاد قياسيه على إعادة استخدامها، وهو أمر ذو مزايا عديدة. فإلى جانب إمكان استخدامها عدة مرات، فإن معظم عمليات ميكنة تداول البالتات، وحواملها pallet racks تصمم لتلك الأحجام القياسية منها. كذلك تفيد الأحجام القياسية للبالتات فى زيادة كفاءة استخدام فراغات وسائل النقل، كما يمكنها تحمل أحمال أثقل من تلك التى تتحملها البالتات الرخيصة التى تستعمل مرة واحدة. كذلك يفيد استعمال حجم واحد قياسى من البالتات فى خفض

عمليات جرد مخزونها وإصلاحها. وأخيرًا فإن هذا التوحيد لحجم البالتات يمكن أن يفيد فى توحيد أبعاد كراتين تعبئة المنتج ذاتها.

وتبعًا لحجم كراتين المنتج فإن البالتة الواحدة يمكن أن تحتوى على ٢٠–١٠٠ كرتونة. ونظرًا لأن تلك الكراتين غالبًا ما تُرص بدون إحكام للسماح بحركة الهواء. أو قد تكون زائدة الامتلاء ويصعب رصها جيدًا، فإنها يجب أن تؤمن بجعل رصة كل بالتة وحدة واحدة، وهى العملية التى تعرف باسم unitization؛ لأجل منع انهيارها أثناء التداول والنقل.

وتستخدم لأجل عمل تلك الوحدات الأشرطة البلاستيكية والأشرطة اللاصقة على نطاق واسع على الرغم من أنها قد لا تُعطى نتائج مرضية. ويجب دائمًا استخدام أركان داعمة من الورق المقوى أو البلاستيك لمنع الأشرطة من سحق أركان الكراتين.

تستخدم كذلك أغشية بلاستيكية مطاطية plastic stretch films على نطاق واسع لتأمين كراتين البالتات، وأفضلها هى الأغشية التى يمكنها التمدد والمحافظة على مرونتها ومطاطيتها والالتصاق بالعبوات. ويمكن للغشاء البلاستيكى أن يُشاكل بسهولة أحجام مختلفة من رصّات البالتات. تفيد الأغشية – كذلك – فى حماية العبوات من فقد الرطوبة وتؤمنها من السرقة منها. ويمكن تثبيتها آليًّا بصورة جزئية. هذا .. إلا أن الغشاء يحد بشدة من عملية التهوية.

وتستخدم الشباك البلاستيكية كبديل للأغشية البلاستيكية، وهى التى تفيد كثيرًا فى تثبيت البالتات التى يلزمها التبريد بالدفع الجبرى للهواء. كما أنها تسمح بالتهوية الجيدة للعبوات.

ومن بين الطرق الرخيصة والسهلة لتثبيت كراتين كل بالتة معًا وضع كمية صغيرة من مادة خاصة لاصقة على قمة كل كرتونة. ومع رص الكراتين فوق بعضها فإن المادة اللاصقة تؤمن بقاءها معًا. تتميز تلك المادة بضعف مقاومتها للشدّ؛ مما يجعل من السهل فصل الكراتين عن بعضها. ولكنها ذات مقاومة عالية للتفتت، مما يجعلها

تؤمن عدم إنزلاق الكراتين، ولا تشكل تلك المادة اللاصقة أى مشاكل تتعلق بإعادة تدوير الكراتين.

ومن هذا المنطلق .. فإن البالتات المجهزة بكراتين المنتجات قد تعد من العبوات.

"صحارات" البالتات pallet bins

تصنع "صحارات" البالتات من أنواع متينة من الأخشاب وتستعمل أساسًا فى نقل المنتجات من الحقل إلى محطة التعبئة. وهى تكون بأحجام كبيرة (مثل الأحجام القياسية للبالتات، أى ١٠٠ × ١٢٠ سم) وبعمق حوالى متر، كما تستخدم - كذلك - "صحارات" أكبر تبلغ أبعادها ١٢٠ × ٢٠٠ سم. هذا .. وتستعمل تلك الصحارات لمدة ٥-١٠ سنوات حسب طريقة تخزينها (فى العراء أم تحت حماية)، ومدى العناية بعمليات تداولها.

الكراتين

تصنع الكراتين من ثلاث طبقات أو أكثر من الكرتون المتموج. ويجب ألا يقل سمك الورق المستخدم فى صناعة الكرتون عن ٠.٢ مم. وتعرف درجاته بالوزن بالجرام لوحدة المساحة وبالسمك. ويتميز ورق الكرافت المصنع من اللب الخشبى غير المقصور اللون باللون البنى وبالمتانة العالية. هذا .. إلاّ أن معظم الكرتون المستخدم يحتوى على ألياف أعيد تدويرها، وإذا ما صنعت الكراتين - بالكامل - من كرتون معاد تدويره فإن قدرتها على التحمل لا تتعدى ٧٥٪ من قدرة الكراتين المصنعة من ألياف "بكر" لم يسبق استخدامها. ويتطلب استخدام الألياف المعاد تدويرها زيادة سمك جدر الكراتين.

هذا .. وتتأثر قوة الكراتين سلبًا بكل من الحرارة المنخفضة والرطوبة العالية. وما لم تكن الكراتين قد أعطيت معاملات خاصة، فإن الرطوبة التى تمتصها من الهواء المحيط بها ومن محتويات الكرتونة ذاتها يمكن أن تقلل من قوة الكرتونة بما يصل إلى ٧٥٪. وتستخدم أغطية لكرتون الكراتين من الشمع والبلاستيك لتقليل تأثير الرطوبة عليها.

يستعمل الشمع بنسبة ٢٠٪ من وزن الألياف مع عبوات كثير من المنتجات التي تتطلب تبريدًا أوليًا بالماء المثلج أو بالثلج. ولكن أكبر مشكلة تواجه استخدام الشمع هي عدم إمكان إعادة تدوير الكراتين المشمعة؛ الأمر الذي يحد من قبولها في عمليات التعبئة.

يقع معظم حمل الكراتين المرصوصة فوق بعضها على أركان الكراتين، الأمر الذى يتطلب الدعم لتلك الأركان بجعل فتحات التهوية بعيدة عنها مع عدم زيادة مساحتها عن ٥٪–٧٪ من مساحة الجوانب.

ومما يفيد في تثبيت كراتين البالتات رصها بطريقة متشابكة تسمح بجعل أركان إحدى العبوات في منتصف العبوة التي توجد أسفل منها، إلاّ أن ذلك يقلل من قدرتها على تحمل الأوزان التي تقع عليها. وللحد من احتمالات انهيار كراتين العبوة ترص عدة طبقات سفلى منها في شكل أعمدة قبل بدء رص المتشابك بعد ذلك.

تصل العبوات الكرتونية إلى محطات التعبئة مفرودة، حيث تشكل على صورة كراتين بالمحطة؛ الأمر الذى يتم أولا بأول حسب الحاجة لأجل عدم شغل حيز كبير بكراتين فارغة. ويمكن أن يتم تشكيل الكراتين يدويًا أو آليًا أو بالطريقتين معًا.

وحديثًا .. استخدم الكرتون في صناعة "صحارات" كبيرة بحجم البالتات يشحن بها منتجات مثل الكرنب والكنتالوب والبطاطس والقرع العسلي والموالح. وهي تكون أقل تكلفة بالنسبة لوحدة الوزن من المنتج عن الكراتين التقليدية الصغيرة الحجم.

ومن أهم مزايا استخدام الكرتون إمكان طباعة بيانات العبوة مباشرة عليه.

الأكياس الورقية والشبكية

يقتصر استخدام الأكياس الورقية – تقريبًا – على عبوات المستهلك من كل من البطاطس والبصل، بينما ينتشر استعمال العبوات الشبكية التي تكون أكثر تحملاً، والتي يعبأ فيها إلى جانب البطاطس والبصل كلا من اللفت والموالح والذرة السكرية.

ولكن يعاب على الأكياس عدم إمكان رصها فى بالتات. كما أن الأكياس الصغيرة لا تشغل الحيز الداخلى للعبوات الكرتونية جيدًا. كما لا توفر الأكياس حماية ضد عمليات التداول العنيفة، ولا توفر الشباك حماية من الضوء أو التلوث. وأخيرًا .. فإن المستهلكين لديهم انطباعاً بأن المنتجات المعبأة فى أكياس لا تكون بدرجة عالية من الجودة، ولا يقبلون على شرائها إلا بسعر منخفض.

العبوات البلاستيكية

يدخل ضمن العبوات البلاستيكية ما يلى:

١- الأكياس البلاستيكية:

يمكن ميكنة عمليات تعبئة وإغلاق الأكياس البلاستيكية، وهى تستخدم كثيرًا كعبوات للمستهلك. وتكون شفافة يمكن فحص محتوياتها، كما يمكن الطباعة عليها بسهولة. تتوفر الأكياس بدرجات مختلفة من السمك كما يمكن تصنيعها بطريقة تسمح بالتحكم فى المكونات الغازية للهواء داخل الكيس.

٢- الغلاف الملتصق بالمنتج shrink wrap:

من الاتجاهات المقبولة فى تعبئة المنتجات الطازجة تغليف كل ثمرة بمفردها بغلاف ينكمش على المنتج ويلتصق به، وهى طريقة تستعمل مع محاصيل مثل البطاطس والبطاطا والتفاح والبصل والذرة السكرية والخيار وبعض الثمار الاستوائية. تفيد هذه الأغلفة فى تقليل الفقد الرطوبى وحماية المنتج من الإصابات المرضية والأضرار الميكانيكية وتوفر سطحًا جيدًا لوضع ملصقات البيانات عليه.

٣- عبوات البلاستيك الجامد rigid plastic packages:

تستخدم عبوات البلاستيك الجامد ذات الغطاء clamshells (أو الـ punnets) كأوعية مستهلك للمنتجات المرتفعة السعر مثل الفراولة وعيش الغراب والخضر السابقة التجهيز fresh-cut.

يعاب على جميع العبوات البلاستيكية احتياجها لنحو ٢٠٠-٤٠٠ سنة لكى تتحلل

فى حفرة أرضية، ولكن تلك الفترة يمكن أن تتقلص إلى ٢٠ سنة فقط إذا أضيف النشا إلى البلاستيك بنسبة ٦٪. وتقوم بعض الشركات بتصنيع بوليثيلين مختلط بالنشا يمكن أن يتحلل فى حفرة أرضية مثل الورق (Boyette وآخرون ١٩٩٦).

العبوات الشائعة الاستعمال فى مصر

إن أكثر أنواع العبوات انتشارًا فى مصر هى أقفاص الجريد، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١- سهولة تصنيعها.

٢- رخص ثمنها.

٣- توفر الخامة التى تصنع منها الأقفاص وهى جريدة النخل.

لكن – كما سبق الذكر – من الضرورى التوقف عن استعمال الأقفاص الجريد فى تعبئة الحاصلات البستانية، ويرجع ذلك إلى الأسباب الآتية:

١- يؤدى استعمالها إلى زيادة نسبة الأضرار الميكانيكية (الجروح والخدوش) بالثمار أثناء عمليات التعبئة والنقل والتسويق، بسبب حواف الجريد الحادة الخشنة.

٢- لا تعطى حماية كافية للثمار لعدم متانتها، فتزيد بذلك نسبة التالف.

٣- لا تكون حواف الأقفاص مستوية، وبالتالى يقع بعض الضغط على الثمار نفسها عند رص الأقفاص فوق بعضها، خاصة عندما تُملأ الأقفاص إلى ما فوق حافتها. ويزيد ذلك من نسبة التالف.

٤- لا تتداخل الأقفاص ببعضها عند الرص، وبذلك فإنها لا تكون ثابتة. ولا يمكن رص أكثر من ٤-٥ طبقات منها، وذلك أمر غير اقتصادى، سواء فى النقل أم التخزين.

٥- تتفكك الأقفاص وتتحلل بسهولة بسبب الرطوبة وعمليات التداول، الأمر الذى يعرض محتوياتها للتلف. كما يزيد من تكلفة التعبئة، نظرًا لأنه لا يمكن إعادة استخدامها أكثر من ٥-٦ مرات.

٦- يصعب تنظيف القفص لإعادة استعماله، ولذلك محاذيره الصحية.

أما العبوات البلاستيكية المتوفرة جزئيًا فى مصر، فلا يوجد بها أى من العيوب السابقة الذكر لأقفاص الجريد، ويزيد على ذلك سهولة حملها وتداولها. ومظهرها الحضارى. كما أن عيبها الرئيسى — وهو ارتفاع ثمنها، بالمقارنة بثمن القفص الجريد — يصبح على المدى الطويل ميزة أخرى؛ نظرًا لإمكانية استعمالها عشرات المرات، بالمقارنة بنحو ٥–٦ مرات فقط كحد أقصى فى حالة أقفاص الجريد.

لكن نظرًا لأن أقفاص الجريد ينتشر استعمالها فى مصر بدرجة كبيرة يصعب معها التخلص منها فى فترة وجيزة؛ لذلك اتجهت الدراسات نحو تحسينها باستعمال بطانة من ورق الكرتون المضلع المثقب لقاع وجوانب القفص؛ وبذلك يتحول القفص الجريد إلى علبة كرتون مدعمة بعوارض من الجريد.

وتستخدم فى التصدير صناديق الكرتون؛ التى تصنع محليًّا. وتختلف فى الشكل والحجم حسب الخضر التى تعبأ فيها. وتستخدم كذلك الأكياس والأجولة الشبكية فى تصدير البصل والثوم، والأجولة الجوت فى تصدير البطاطس. وجميع هذه العبوات جيدة، وتناسب الخضر التى تعبأ فيها.

الخامات التى تصنع منها العبوات

إلى جانب الخشب الذى تصنع منه البالتات و "صحارات" البالتات، فإن أهم الخامات استخدامًا فى تصنيع العبوات الشائعة الاستعمال، هى: الورق والكرتون، والبلاستيك، ونوعيات مختلفة من الأغشية البلاستيكية المعاملة بمواد أخرى.

الورق والكرتون

تنتج عجينة الورق من رقائق الخشب بعد تحليلها بالأحماض أو بالقلويات. ويؤدى التحليل القاعدى إلى إنتاج عجينة الكبريتات sulfate pulp، بينما يؤدى التحليل الحامضى إلى إنتاج عجينة الكبريتيت sufiite pulp. ويظهر فى جدول (٧–١) مختلف أنواع الورق والكرتون board التى تستخدم فى تعبئة الأغذية (Smith وآخرون ٢٠٠٣).

جدول (٧-١): أنواع الورق التى تستعمل - عادة - فى تعبئة المنتجات.

النوع		المواصفات	الاستعمالات
ورق الكرافت	Kraft paper	بنى اللون (غير معامل بقاصر الألوان) - قوى ومقاوم للتمزق عندما يكون جافًا	عمل الأكياس والأجولة الشديدة التحمل
ورق الكرافت المعامل بقاصر الألوان	Bleached	أبيض اللون وقد يكون لامعًا وأقل قوة عن الورق البنى	عمل الأكياس البيضاء وورق التعبئة
ورق البارشمنت	parchment	نصف شفاف - يعامل بحامض الكبريتيك لجعل الطبقات السطحية جيلاتينية	تعبئة الزبدة والمارجرين
ورق مقاوم للشحوم	Greaseproof	ذات كثافة عالية وسطح ناعم جدًا	ورق تعبئة ذات مقاومة عالية للشحوم
ورق الزجاجين	Glassine	ذات كثافة عالية - شفاف - وسهل التمزق	ورق تعبئة الحلوى
نسيج ورقى	Tissue	خفيف الوزن - ينتج من لُباب pulps كثيرة	خفيف الوزن - يستعمل فى حماية المنتجات غير الصلبة من الغبار والتجريح
الكرتون	Paperboard/cardboard	لب ورق مكدس	عمل الكراتين والصناديق والصوانى والفواصل داخل الكراتين
الكرتون المضلع (المتموج)	Corrugated cardboard	أفرخ كرتونية متموجة	عمل الصناديق

يصنع ورق الكرافت kraft مما لا يقل عن ٨٠٪ من عجينة خشب الكبريتات. وهو ورق قوى جدًا. ويستخدم فى عمل الأكياس الورقية القوية. وأكياس الشحن. وغيرها من الأكياس التى تستخدم فى تعبئة كميات كبيرة من المنتج. وورق الكرافت الأبيض

(المبيض bleached) يعد أكثر تكلفة وأقل تحملاً من غير المبيض، ولكنه يناسب الطباعة عليه جيدًا. أما ورق البارشمان (البارشمنت parchment) فهو ينتج من عجينة الكبريتات بعد مرورها فى حمام من حامض الكبريتيك. ويتميز هذا الورق بأنه أكثر مقاومة للزيوت والشحوم والابتلال عن ورق الكرافت.

أما ورق الكبريتيت sulfite paper فإنه يكون أخف وزنًا وأضعف من ورق الكبريتات. ويصنع الورق المقاوم للشحوم greaseproof paper من عجينة الكبريتيت بعد ضرب أليافها كثيرًا لتصبح أكثر تقاربًا. ويعد هذا الورق مقاومًا للزيوت والدهون عندما يكون جافًا، ولكنه يفقد تلك الخاصية عندما يصبح مبتلاً. يستخدم هذا الورق فى تغليف السمن الصناعى وفى تصنيع عبوات البطاطس المحمرة، وكبطانة داخلية للأكياس المتعددة الجدر. أما ورق الزبدة glassine فهو ورق كبريتيت مقاوم للشحوم يتميز بمظهره البرّاق، وهو يستخدم فى تغليف بعض المنتجات الغذائية. وأما ورق الزبدة المغلف بالشيكولاتة فإنه يستخدم فى الحماية من الأشعة فوق البنفسجية لأجل منع مشاكل التزنخ فى الشيكولاتة ورقائق البطاطس (الشبس). ويتميز الورق الرقيق tissue paper بنعومته وعدم مرونته. وهو يستخدم فى حماية الثمار من الأتربة والتجريح.

ومن أكبر مساوئ الورق عند استخدامه فى التعبئة ضعف قدرته على إعاقة الرطوبة، والغازات، والشحوم، والروائح من الوصول إلى الثمار، كذلك فإنه لا يمكن لحامه بالحرارة ولتحسين تلك الخاصيتين غالبًا ما يعالج الورق بالشمع، أو بغشاء بلاستيكى، أو برقائق معدنية، أو بالغشاء والرقيقة معًا.

يصنع ورق الكرتون بطريقة مماثلة لتلك التى يُصنع بها الورق العادى، ولكنه يكون أسمك لأجل حماية المواد المعبأة من الأضرار الميكانيكية. وأهم صفات الكرتون هى سمكه، وصلابته، وقدرته على التشكيل دون تشقق، ودرجة بياضه، وخصائص سطحه، وإمكانية الطباعة عليه. ويكون الكرتون الأبيض هو الأنسب عند ملامسته للغذاء، وغالبًا

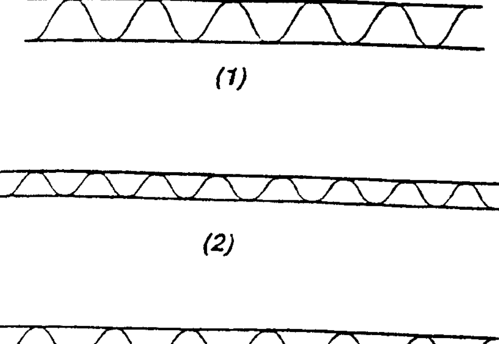
ما يكون مغلفًا بالبوليثيلين أو بالبولى فينيل كلورايد، أو بالشمع لأجل جعله صالحًا لأن يلحم بالحرارة. أما الـ pulp containers فهى تصنع من عجينة ورق مضغوطة للتخلص من الرطوبة، وهى تستخدم فى تصنيع أطباق البيض وصوانى المأكولات، وكوسائد مبطنة للمنتجات الغذائية.

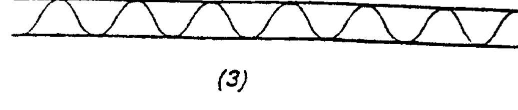
ويعد ورق الكرتون المموج corrugated board هو الأوسع انتشارًا، ويصنع من طبقة داخلية وأخرى خارجية من ورق الكرافت وبينهما مادة وسطية مموجة corrugated أو محززة fluting. ويصنع ورق الكرتون المموج بتليين ورق كرافت الكرتون بالبخار ثم إمراره على أسطوانات دوّارة rollers ليصبح مموجًا. ويلى ذلك إضافة المادة الوسطية باستخدام مادة لاصقة مناسبة. وتعرف أربعة أحجام من التحزز flute sizes، هى A، و B، و C، و E تتباين فى ارتفاعاتها وفى عدد التحززات فى وحدة الطول من الكرتون. ويمكن أن تكون تلك الطرز منفردة أو فى توافيق مع بعضها البعض، لإنتاج تراكيب كرتونية مموجة ذات وجه واحد، أو طبقة واحدة أو طبقتين أو ثلاث (شكل ٧-١). وأكثر الطرز شيوعًا هو وحيد الجدار طراز C flute (رقم ٣ فى الشكل) (Smith وآخرون ٢٠٠٣).

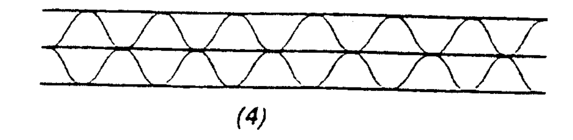
البلاستيك

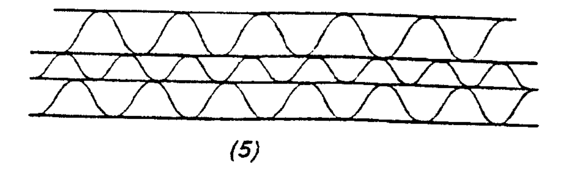
إن المواد الخام التى يصنع منها البلاستيك هى البترول، والغاز الطبيعى، والفحم. وهو يصنع بطريقة البلمرة polymerization التى تربط بين عديد من الوحدات الكيميائية الصغيرة (monomers) المتكررة، لتكوين جزيئات كبيرة من البوليمرات. ويبين جدول (٧-٢) أمثلة لأنواع البلاستيك ووحداتها الأولية التى تدخل فى تكوينها.

وتحتوى بلاستيكات كثيرة كميات صغيرة جدًا من الإضافات مثل اللدائن plasticizers، ومضادات الأكسدة antioxidants، والشحومات lubricants، ومثبات ضد للحرارة، ومثبات ضد الأشعة فوق البنفسجية، وجميعها مواد تستعمل لتحسين خصائص البلاستيك. فمثلاً .. تضاف اللدائن لجعل البلاستيك أكثر ليونة وأقل قابلية للتقصف فى المناخ الشديد البرودة أو عند استعماله مع المنتجات المجمدة.









شكل (٧–١): طرز مختلفة من تركيبات ورق الكرتون المموج:

(١): "A" flue – جدار واحد. (٢): "B" flue – جدار واحد.

(٣): "C" flute – جدار واحد. (٤): "C" + "C" – جدار مزدوج.

(٥) "C" + "B" + "A" – ثلاثة جدر.

ومن أهم مميزات البلاستيكات كمواد مغلفة، ما يلي:

١– قلة التكلفة نسبيًا.

٢– تعمل كحاجز جيد ضد الرطوبة والغازات.

٣- إمكان لحامها بالحرارة.

٤- صلاحيتها لعمليات التعبئة السريعة.

٥- متانتها.

٦- صلاحيتها للطباعة عليها.

٧- سهولة تداولها من قبل كل الأطراف.

٨- خفة وزنها.

٩- إمكان تشكيلها حسب شكل المحصول المعبأ بداخلها؛ فيقل الفاقد فى الحيز المتاح أثناء التخزين والتوزيع.

يمكن تصنيع البلاستيكات كأغشية مرنة أو كأوعية نصف صلبة أو صلبة حسب متطلبات التعبئة. وتصنع أغشية البلاستيك بمدى واسع من خصائص المرونة والشفافية والتحكم فى مرور الغازات من خلالها، كما أنها قد تغلف بـ بوليمر آخر أو بغلاف معدنى. ومن أمثلة الأغشية المرنة الشائعة الاستعمال السيليلوز cellulose، والبوليثيلين polyethylene والبوليستر polyester، والبولى آمايد polyamide، والبولى بروبلين polypropylene، والبوليسترين polystyrene، والبولى فينايل كلورايد polyvinyl chloride، والبولى فينايلدين كلوريد polyvinylidene chloride، والإثيلين فينايل أسيتيت ethylene vinyl acetate، وكحول الإثيلين فينايل ethylene vinyl alcohol، والسُرلين Surlyn (جدول ٧-٢) (Smith وآخرون ٢٠٠٣). كما يظهر فى جدول (٧-٣) الأسماء الكاملة والمختصرة لبعض الأغشية التى أسلفنا بيانها وأغشية أخرى متنوعة (Thompson ٢٠٠٣).

جدول (٧-٢): أمثلة لأنواع من البلاستيك تستعمل فى التعبئة.

النوع	وحدة التركيب	الخصائص العامة
Cellulose	Glucose	قوى – حاجز ضعيف ضد بخار الماء والغازات – يمكن الطباعة عليه جيدًا – لا يمكن لحامه بالحرارة
Polyethylene (PE)	Ethylene	قوى – مرن – يمكن مطه – حاجز جيد ضد بخار الماء – حاجز ضعيف ضد الغازات – حرارة انصهاره منخفضة – يُلحم جيدًا بالحرارة
Polyester (PET)	Ethylene glycol + terephthalic acid	صلب متيبس – قوى – خامل – لا يلحم بالحرارة جيدًا – حاجز متوسط ضد بخار الماء والغازات
Polyamide (PA)	Diamine + various acids	صلب متيبس – قوى – خامل – شفاف – يلحم جيدًا بالحرارة – حاجز ضعيف ضد بخار الماء – حاجز جيد ضد الغازات عندما يكون جافًا
Polypropylene (PP)	Propylene	قوى – خامل – شفاف – حرارة انصهار منخفضة – حاجز جيد ضد بخار الماء – حاجز ضعيف ضد الغازات
Polystyrene (PS)	Styrene	صلب متيبس – قوى – سهل التكسر – حاجز ضعيف ضد بخار الماء والغاز
Polyvinyl chloride (PVC)	Vinyl chloride	رخو – خامل – شفاف – قابل للمط – حاجز جيد ضد بخار الماء – حاجز متوسط ضد الغازات
Polyvinylidene chloride (PVDC, Saran)	Vinyl alcohol + vinylidene chloride	خامل – شفاف – ليس قويًا – حرارة انصهاره عالية – يلحم حراريًا على حرارة عالية – حاجز ممتاز ضد بخار الماء والغازات
Ethlyene vinyl acetate (EVA)	Vinyl acetate + ethylene	قوى – شفاف – خامل – قابل للمط كثيرًا – حرارة انصهاره منخفضة – يُلحم حراريًا – حاجز متوسط ضد بخار الماء – حاجز ضعيف ضد الغازات
Ethylene vinyl alcohol (EVOH)	Vinyl alcohol + ethylene	قوى – صلب متيبس – خامل – يُلحم حراريًا فى حرارة منخفضة – حاجز ضعيف ضد بخار الماء – حاجز جيد ضد الغازات
Ionomer (Surlyn)	Ethylene + methacrylic	قوى – خامل – شفاف – يُلحم حراريًا فى حرارة منخفضة – حاجز متوسط ضد بخار الماء – حاجز ضعيف ضد الغازات

جدول (٧–٣): قائمة ببعض الأغشية البلاستيكية المستخدمة فى تعبئة الخضر والفاكهة الطازجة.

الغشاء	الاختصار
Cellulose acetate	CA
Ethylene-vinyl- acetate copolymers	EVAL
Ethylene-vinyl alcohol copolymers	EVOH
High-density polyethylene	HDPE
Ionomer	--
Linear low-density polyethylene	LLDPE
Low-density polyethylene	LDPE
Medium-density polyethylene	MDPE
Oriented polypropylene	OPP
Polybutylene	PB
Poly(ethylene terephthalate)	PET
Polyolefin	--
Polypropylene	PP
Polystyrene	PS
Polyvinylbutyral	PVB
Poly(vinyl chloride)	PVC
Poly(vinylidene chloride)	PVDC

الأغشية المغطاة coated films

غالبًا ما تغطى الأغشية البلاستيكية ببوليمرات أو بالألومنيوم لتحسين قدرتها كموانع للرطوبة والغازات، أو لإكسابها قدرة على تحمل الحرارة. فمثلاً .. يغلف النيتروسيليلوز nitrocellulose من أحد جانبيه بغشاء من السيليلوز لزيادة قدرته كحاجز للرطوبة فى الوقت الذى تستمر فيه نفاذيته للأكسجين. وإذا كان الغطاء من الفينيل كلورايد أو من الفينيل أستيت فإن الغشاء يصبح أكثر صلابة وذا نفاذية متوسطة. وإذا ما أضيف غطاء رقيق من الألومنيوم (وهى العملية التى تسمى metallization) فإن الغشاء يشكل حاجزًا

جيـدًا جـدًّا ضـد الزيـوت، والغـازات، والرطوبـة، والـروائح، والضـوء. ويـتم تغليـف السيليلوز، والبولى بروبلين، والبوليستر بترسيب بخار الألومنيوم على سطح الغشاء تحت تفريغ.

الأغشية المكونة من عدة رقائق laminated films

إن لصق غشاءين أو أكثر معًا يُحسِّن المظهـر وخاصية حجـز أو منـع نفـاذ الرطوبـة والغازات، والمتانة. ويمكن أن يلصق بلاستيك مع بلاستيك، وورق مع رقـائق ألومنيـوم، وورق مع رقائق ألومنيوم مع بلاستيك. أما اللصق ذاته فقد يكون بطريقة جافة أو رطبـة، أو بالانبثاق الحرارى thermal extrusion (Smith وآخرون ٢٠٠٣).

تغليف الثمار المفردة

عُرِفَ تغليف الثمار المفردة منذ ثمانينيات القرن العشرين، وهو يتضمن استعمال غشاء بوليميرى ينكمش بالحرارة (يكون عادة سمك ١٢,٥–١٨,٧٥ ميكرون من البوليثيلين عالى الكثافة) فى تغليف كل ثمرة على حده. ثم تعريضه لتيـار مـن الهـواء السـاخن، حيـث ينكمش ليلتصق بالثمرة.

ومن أهم مميزات تغليف الثمار المفردة، ما يلى:

١– تأخير النضج بسبب التغير فى تركيب الهواء المحيط بالثمرة والناشئ عن النشاط البيولوجى للمنتج ذاته.

٢– يعمل الغشاء كحاجز جيد ضد فقد الرطوبة، مع الاحتفاظ بالطعم.

٣– يمنع الغشاء انتشار الأمراض من ثمرة لأخرى.

٤– يُحسِّن الغشاء من عمليات تداول المنتجات ويوفر لها أمان ضد التلوث.

٥– يمكن عن طريق الغشاء تسعير كل ثمرة على حدة.

٦– زيادة فـترة الصـلاحية للتخـزين بمقـدار ٢–٣ أضـعاف فيمـا يخـص صـفات الجودة.

ومن أهم عيوب تغليف الثمار المفردة، ما يلي:

١– احتمال ظهور نكهة غير مرغوب فيها بسبب ضعف تبادل الغازات.

٢– احتمال زيادة فرصة الإصابات المرضية الفطرية بسبب الرطوبة العالية التى يحجزها الغشاء.

ولتجنب تلك المشاكل تستعمل أغلفة مثقبة تغطى فيها الثقوب حوالى ١٠٪ من سطح الغشاء، وتكون بقطر يتراوح بين ٠,٠٠٧ و ٠,١٦ ملليمترًا (Smith وآخرون ٢٠٠٣).

وقد شاع تغليف ثمار الفلفل والباذنجان المفردة فى أغشية البولى فينيل كلورايد المرنة PVC stretch film، إلا أن هذه الأغلفة غير مفضلة لضرورة إزالتها قبل عرض المنتج للبيع؛ حتى يمكن للمستهلك رؤية الثمار بوضوح. كما استعملت أغشية Cryovac لنفس الغرض؛ وهى أكثر شفافية من أغلفة الـ PVC، وأفضل مظهرًا، إلا أنها تترك انسلاخات صغيرة غير مرغوب فيها بجلد الثمرة عند إزالتها.

ويمكن التغلب على تلك العيوب باستعمال هذه الأغلفة فى تبطين صناديق من الكارتون، ولكن ذلك يؤدى – غالبًا – إلى زيادة نسبة الأعفان بالثمار؛ بسبب تكثف قطرات الماء على الغشاء المبطن للصندوق. وقد تمكن Fallik وآخرون (١٩٩٤) من التغلب على هذه المشكلة بوضع ١٠ طبقات من المناشف الورقية tissue paper بين الغشاء والثمار؛ لتمتص الرطوبة الحرة التى قد تتكثف داخل العبوة.

الأغشية الصالحة للأكل

تعرف تغطية الخضر والفاكهة بمواد صالحة للأكل – لأجل زيادة قدرتها على التخزين – منذ أمد بعيد. وأكثر أنواع الأغطية شيوعًا الشمع الذى يحد من التنفس والفقد الرطوبى ويؤخر الشيخوخة. وقد استعمل لأجل ذلك مستحلب مائى من الشمع الساخن المنصهر مع زيت الكارنوبا carnauba، وخاصة مع التفاح والطماطم والباذنجان.

ولقد ازداد حديثًا الاهتمام بتلك النوعية من المواد الصالحة للأكل والتى يمكن أن

تغلف بها منتجات الخضر والفاكهة. ومن أهم الخصائص التى يجب أن تتوفر فيها أن تشكل مانعًا جيدًا أمام فقد الرطوبة وتبادل الغازات، وأن يمكن دمج إضافات أخرى معها مثل مضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة، والمغذيات، ومكسبات اللون.

ومن أكثر الأغشية الصالحة للأكل استعمالاً عديدات التسكر، والبروتين، والدهون. يمكن أن يتكون عديد التسكر من النشا والدكسترينات والسيليلوز، وتتكون الأغلفة البروتينية من الكولاجين collagen، والجيلاتين وجلوتين القمح والذرة، والزيين zein. أما الأغشية الدهنية فقد تتكون من الشموع الطبيعية والناشرات surfactants. ومن المواد الأخرى التى استعملت كأغطية صالحة للأكل الألجينات alginate، والشيتوسان chitosan، وال acetylated monoglyceride (Smith وآخرون ٢٠٠٣).

هذا .. ونلقى مزيدًا من الضوء على هذا الموضوع فى الفصل التاسع.

الشروط التى تجب مراعاتها عند التعبئة

إن الهدف الأساسى الذى يجب أخذه - فى الحسبان - عند التعبئة هو تداول الحاصلات البستانية بأقل تكلفة ممكنة، مع المحافظة عليها من التلف لأكبر درجة ممكنة. ولتحقيق ذلك يجب عند التعبئة مراعاة الشروط التالية:

١- اختيار العبوة المناسبة للمحصول، ولمدة الشحن، وللأسواق، وللتبريد المبدئى precooling فى حالة إجرائه. فعبوات الحقل والشحن تكون - بطبيعة الحال - أكبر حجمًا من عبوات المستهلك. وعبوات الحاصلات التى تتحمل التداول - كالبصل، والبطاطس - تكون أكبر حجمًا من عبوات الحاصلات الرهيفة، كالفراولة، ويزيد حجم عبوات الحاصلات ذات الثمار الكبيرة عن حجم عبوات الحاصلات ذات الثمار الصغيرة. فبينما يبلغ وزن عبوة الفراولة ٣ كجم، فإن عبوة البسلة تكون ٣-٦ كجم، والطماطم نحو ١٠ كجم، والبصل نحو ٥٠ كجم. كذلك يزيد حجم عبوات السوق المحلى عن حجم عبوات التصدير، ولكن الاتجاه العالمى هو تصغير العبوات تمشيًا مع توصية منظمة العمل الدولية الخاصة بتحديد الحد الأقصى للوزن الذى يمكن أن يتداوله الفرد. وإذا

احتاج الأمر إلى إجراء عملية التبريد المبدئى بعد التعبئة، فيجب أن تكون العبوات مناسبة لذلك؛ من حيث توصيلها الحرارى والتهوية.

هذا ويناسب الثمار الطرية مثل العنب والفراولة والبرقوق العبوات المصنوعة من البلاستيك نصف الجامد semirigid، مثل البوليثيلين عالى الكثافة high-density polyethylene (اختصارًا: HDPE)، والبولى بروبلين polypropylene (اختصارًا: PP)، مع غطاء بلاستيكى من البوليسترين polystyrene (اختصارًا: PS)، ويكون هذا الغطاء مثقبًا لمنع التكثف المائى.

أما الثمار الصلبة، مثل الخوخ، والكمثرى، والطماطم فهى أقل حساسية لعمليات التداول، ومن أكثر المواد المستخدمة فى تعبئتها صوانى البوليسترين أو الكرتون المفتوحة، مع غطاء بلاستيكى من بوليثيلين قليل الكثافة أو بولى فينيل كلورايد.

٢- الحرص عند التعبئة على وضع كل ثمرة أو منتج فى مكانه الصحيح، حتى يبقى فى مكانه دون تحرك لحين وصوله إلى الأسواق؛ لأن كثرة الاهتزازات واحتكاك الثمار – بعضها ببعض، وبجدار العبوة – يحدث خدوشًا بسيطة تتحول فيها الأنسجة إلى اللون البنى؛ الأمر الذى يخفض من قيمتها التسويقية، ويزيد من سرعة التنفس، ومعدل التدهور، وفرصة الإصابة بالأمراض. ويمكن تحقيق ذلك بلف الثمار كلٌ على حدة، أو بعزلها بعضها عن بعض بقصاصات الورق، أو باستخدام الصوانى ذات الفجوات المناسبة أو الخلايا فى التعبئة.

٣- أن تكون العبوات ممتلئة جيدًا، بشرط ألا يؤدى إغلاق الغطاء إلى الضغط على الثمار، حتى لا تتخلخل أثناء النقل والتسويق.

٤- عدم زيادة طبقات الثمار عما يمكن أن تتحمله الطبقة السفلى.

٥- الأمانة فى التعبئة، بحيث لا توضع منتجات مخالفة للدرجة وسط العبوة، لأن ذلك شئ يسئ إلى المسئول عن الإنتاج والتعبئة، وبعود عليه بالضرر.

٦- تتوقف طريقة ترتيب الثمار فى العبوات على أساس شكلها، وما إن كانت بأعناق أم بدون أعناق كالتالى:

أ- توضع رؤوس القنبيط متبادلة من حيث اتجاه الأقراص لأعلى أو لأسفل، مع وضع قصاصات ورق بينها.

ب- تعبأ ثمار الشمام متبادلة أفقيًا مع استخدام وسادة تحمى الثمار.

جـ- تتبادل كذلك رؤوس الخرشوف مع الأعناق عند التعبئة.

د- توجه عروش الجزر إلى داخل العبوة.

هـ- ترتب ثمار الباذنجان فى صفوف طولية مع توجيه أعناق الثمار لأعلى.

و- تعبأ ثمار الطماطم إما بطريقة منتظمة تسمح بملء فراغ العبوة جيدًا وثبات الثمار لضمان عدم تحركها بالاهتزاز، وإما فى صوان ذات انخفاضات فى طبقات لا يزيد عددها عن مقدرة الثمار السفلى على تحمل الضغط الواقع عليها. ويتوقف ذلك على صلابة الثمار وطور النضج.

ز- تعبأ ثمار الكوسة فى ثلاث طبقات، مع وضع قصاصات ورق بينها؛ وذلك لضمان ثباتها فى مكانها.

ح- يوجد من الخضر ما يعبأ بتفريغ المحصول داخل العبوة حتى تمتلئ. ثم تهز العبوة حتى تأخذ الثمار أماكن ثابتة داخلها. ويستمر ذلك حتى وصول العبوة إلى وزن معين، كما هى الحال فى تعبئة البصل. والثوم، والبطاطس فى أجولة.

٧- يحسن دائمًا تبطين العبوات لتقليل احتكاك الثمار بجسم العبوة؛ وبالتالى تقليل الأضرار الميكانيكية. ومن أهم المواد المستخدمة فى التبطين: ورق الكرافت، والبارشمنت، والزبدة، والكرتون المضلع الرفيع، والبلايوفيلم، والبوليثيلين، والورق المحشو بالقطن.

٨- يراعى عند إغلاق العبوة أن يملأ الجزء المتبقى منها بقصاصات الورق.

٩- من الضرورى وضع بعض البيانات الخاصة؛ وذلك بطبعها على العبوة مباشرة، أو على بطاقة خاصة تلصق على العبوة. على أن تشتمل هذه البيانات على اسم

المحصول، والرتبة، والعلامة التجارية، واسم المصدِّر وعنوانه، أو أحدهما، والوزن الصافي، ومكان الإنتاج، ورقم الرسالة المسلسل.

وفي مصر يشترط – في العبوات المعدة للتصدير – كتابة جميع البيانات السابقة الذكر باللغة العربية في حالة التصدير إلى الدول العربية، وبإحدى اللغتين: الإنجليزية أو الفرنسية في حالة التصدير إلى الدول الأخرى. ويشترط الكتابة بألوان خاصة للدرجات المختلفة، مع إعطاء الرموز (I و II) للدرجتين الأولى والثانية (عن الإدارة العامة للتدريب ١٩٧٣).

وضع البالتات في المخازن

يتم رص أو "تستيف" stacking البالتات في المخازن بطريقة تسمح بأفضل استغلال للحيز التخزيني المتاح، وبحركة الهواء بصورة مناسبة ومتجانسة بين البالتات، وبسهولة الوصول إلى المنتج.

ويراعى في هذا الشأن، ما يلي:

١- جعل الرصّات على مسافة ٨ سم من الحوائط الخارجية، مع زيادة تلك المسافة إلى ١٠-١٢ سم إذا كانت تلك الحوائط تتعرض للشمس. تسمح تلك المسافة بحرية حمل أية حرارة تنتقل من خلال الحوائط – مع الهواء – إلى ملفات التبريد دون مرورها على المنتج المخزن.

٢- ترك مسافة ٢٥ سم بين قمة الرصة وصواني تلقي الماء المتكثف على ملفات التبريد التي توجد أعلاها.

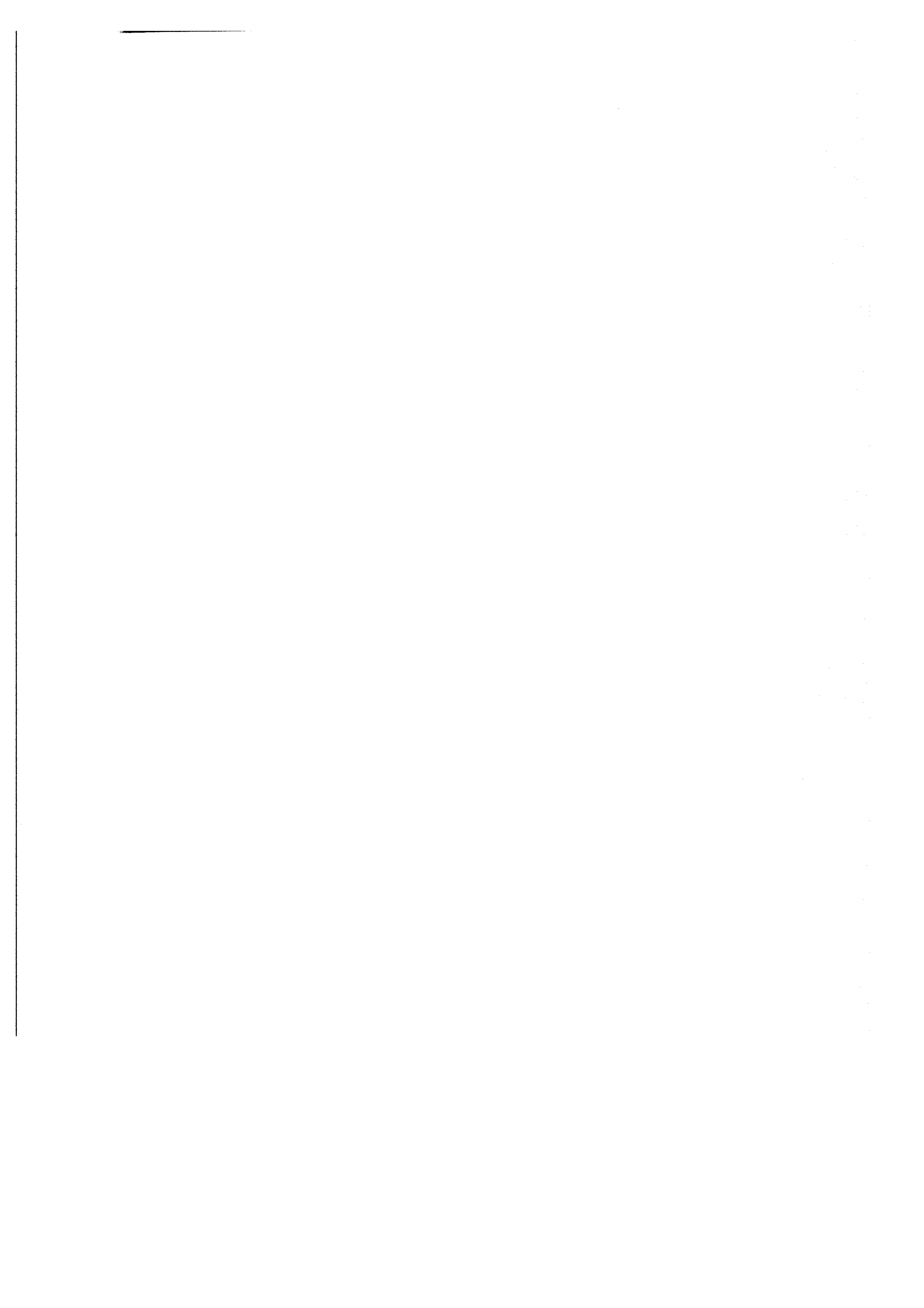
٣- ترك مسافة مترين بين الهواء البارد المدفوع من المبردة وبداية الرصة للسماح بتوزيع الهواء بشكل مناسب مع عدم تجمد المنتج الذي يوجد في الواجهة.

٤- ترك مسافة ٨سم بين الأرضيات والرصة الأولى.

٥- ترك مسافة عمودية بعرض ١سم بين العبوات المتجاورة في البالتة الواحدة.

٦- في حالة التخزين الحر بدون عبوات (in bulk) يجب ترك مساحة من

الأرضيات – بين أكوام المنتج المخزن – تبلغ نحو ٨٪–١٠٪ من المساحة الكليـة (Wills وآخرون ١٩٩٨).



الفصل الثامن

التبريد الأوّلى

يجرى التبريد الأولى الأوّلى pre-cooling بغرض التخلص من حرارة الحقل field heat (خاصة عندما يكون الحصاد فى الجو الحار) لتقليل سرعة نضج وتدهور المحصول، خاصة وأن بعض الخضر والفاكهة الطازجة تتدهور خلال ساعة واحدة بعد الحصاد على ٢٦°م بما يعادل تدهورها خلال أسبوع كامل على ١°م، وخاصة إذا ما كان معدل تنفسها عالٍ بطبيعته (Rennie وآخرون ٢٠٠٣).

وتجرى عملية التبريد الأوّلى قبل التحميل على الشاحنات، أو بعد التحميل مباشرة. وتتراوح مدة العملية بين ٣٠ دقيقة و ٢٤ ساعة حسب الطريقة المتبعة.

وتختلف عملية التبريد الأوّلى عن التخزين المبرد فى أمرين:

١- يتم خفض درجة حرارة المنتج فى مدة وجيزة فى حالة التبريد الأوّلى، بينما قد يستلزم ذلك ٣-٥ أيام فى حالة مجرد وضع المحصول فى المخازن المبردة.

٢- تستعمل لأجل ذلك وسائل متنوعة ودرجات حرارة أكثر انخفاضًا من تلك المستخدمة فى التخزين العادى حتى تتم العملية بسرعة.

إن تبريد المنتجات الطازجة يثبط كل التغيرات البيولوجية التى تقلل من جودة المنتج، ومن أهم تلك التغيرات، ما يلى:

١- مظاهر الشيخوخة التى ترجع إلى النضج، والطراوة، والتغيرات فى القوام واللون.

٢- التغيرات الأيضية غير المرغوب فيها، وإنتاج حرارة التنفس.

٣- الفقد الرطوبى والذبول.

٤- التلف الذى يرجع إلى الإصابة بالبكتيريا والفطريات والخمائر.

٥- النموات غير المرغوب فيها، مثل تبرعم البطاطس.

إن من أهم وظائف التبريد التحكم فى معدل تنفس المنتج، وهى العملية التى تؤدى إلى انطلاق حرارة تنتج عن أكسدة السكريات والدهون والبروتينات فى خلايا المنتج، بما يعنى فقد مخزون الغذاء ونقص القيمة الغذائية، وفقدان المذاق. وسرعة التدهور. فضلا عن النقص فى وزن المنتج الذى يمكن بيعه.

ومن الأهمية بمكان – المحافظة على سلسلة التبريد بعد تبريد المنتج أوليًا حتى لا تتكثف الرطوبة على المنتج. وما يعنيه ذلك من زيادة فرصة الإصابة بالأعفان (Bachmann & Earles ٢٠٠٠).

العوامل المؤثرة فى سرعة التبريد الأوَّلى

تتوقف سرعة التبريد الأوَّلى على العوامل الآتية:

١- الفرق فى درجة الحرارة بين المنتج ووسط التبريد.

٢- نوع وسط التبريد المستخدم.

٣- سرعة نفاذية البرودة خلال المنتج.

وتتحدد سرعة التبريد بما يسمى بمدة نصف التبريد half-cooling time. وهى المدة اللازمة لخفض الفرق فى درجة الحرارة بين المحصول ووسط التبريد إلى النصف. وتبقى هذه القيمة ثابتة خلال عملية التبريد الأوَّلى. وهى مستقلة عن درجة حرارة المحصول الأولية، وتختلف باختلاف المحصول وطريقة التبريد الأوَّلى المستخدمة.

ويجب أن يتبع التبريد الأولى دائمًا بقاء المنتج باردًا أثناء الشحن والتخزين والتسويق. وكذلك بعد الشراء حتى الاستهلاك.

التبريد الأوَّلى أثناء الشحن

الشحن البحرى فى الحاويات المبردة

يجب تبريد المنتجات السريعة التعرض للتلف أوليًا قبل تحميلها فى الحاويات المبردة. هذا .. إلا أن بعض مناطق الإنتاج لا يتوفر فيها بنية أساسية للتبريد. حيث

يعد التبريد أثناء الشحن البحرى هو الوسيلة الشائعة الاستعمال. وذلك كما فى حالتى الموز والموالح المنتجة فى المناطق الاستوائية.

توفر الحاويات المبردة الهواء البارد من فتحات سفلية ويتحقق أسرع تبريد باستعمال عبوات تسمح بالتحرك الرأسى للهواء، مع رص العبوات بطريقة تسمح بمرور الهواء خلالها. ولذا .. يجب أن تحتوى الكراتين على فتحات علوية وسفلية، وألا تحتوى بداخلها على أى مواد تعبئة يمكن أن تعيق حركة الهواء من خلالها. كذلك يجب أن تغطى كراتين المنتج كل أرضية الحاوية لمنع الهواء البارد من التحرك بين البالتات دون المرور خلال المنتج ذاته. وإذا ما روعيت تلك الأمور فإن المنتج يمكن أن يستكمل تبريده فى خلال يوم واحد إلى يومين. وبغير ذلك يتأخر التبريد كثيرًا وقد يصل المنتج دافئًا وبحالة سيئة.

التبريد أثناء النقل فى الشاحنات

لا يجوز أبدًا أن يُعتمد على الشاحنات كوسيلة للتبريد الأوّلى لأنه لا يتوفر فيها تيار كافٍ من الهواء البارد لأجل ذلك؛ فهو يكفى بالكاد للمحافظة على برودة المنتج المبرد أوليًّا بالفعل (عن Thompson ٢٠٠٤).

التبريد الأوّلى فى غرف التبريد

تبريد الغرفة room cooling هو مجرد وضع المنتج فى مخزن مبرد. يكفى ذلك لسرعة تبريد المنتج إن وضع فى مواجهة مباشرة للهواء البارد. هذا إلاّ أن الكراتين وبالتات المنتجات تحد من التعرض المباشر للمنتج للهواء البارد، مما قد يعنى احتياج استكمال التبريد لعدة أيام. وعمومًا .. فإن المنتجات المعبأة قد يُستكمل تبريدها فى خلال ٢٤ ساعة إذا ما كانت جوانب عبواتها بها فتحات بنسبة ٥٪ من مساحتها. ويجب أن تكون تلك الفتحات فى مواجهة بعضها البعض فى الباليتات، وعلى أن تترك مساحة ١٠–١٥سم بين الباليتات المتجاورة. ولتحقيق تبريد الغرفة بكفاءة يجب أن تزود

حجرات التبريد بوسيلة لانسياب الهواء بتجانس خلالها بمعدل لا يقل عن ١٠٠ قدم مكعب (٢,٨٣٢م^{٣}) لكل طن من القدرة التخزينية للمنتج بالحجرة (Thompsom\n ٢٠٠٤).

وإلى جانب كون غرف التبريد (المخازن المبردة) تشكل جزءًا من محطات التعبئة فإنها قد تُقام على أرصفة الشحن، حيث يوضع بها المحصول لتبريده أوليًا قبل شحنه. ويمكن إسراع التبريد الأولى بهذه الطريقة بخفض حرارة الهواء المستخدم فى التبريد إلى صفر-٣°م، إلى جانب الالتزام بالشروط التى أسلفنا بيانها.

وتصلح هذه الطريقة لتبريد جميع المحاصيل، وتعتبر هى الطريقة الوحيدة المتبعة – عادة – لتبريد البطاطس، والبصل، والثوم، كما يشيع استعمالها مع الموالح والتفاح المخزن فى جو متحكم فى مكوناته.

التبريد الأوَّلى بالثلج المجروش

إن تعبئة المنتجات مع الثلج المجروش أو رقائق الثلج تؤدى إلى سرعة تبريده أوليًا مع المحافظة على حرارة المنتج منخفضة أثناء عمليات التداول التالية. كما يحافظ على بقاء الرطوبة النسبية مرتفعة حول المنتج، مما يقلل من الفقد الرطوبى؛ إلا أنه يعيب هذه الطريقة احتياجها إلى تكلفة إنشائية وأخرى أثناء التشغيل، واحتياجها إلى عبوات يمكنها تحمل التعرض المستمر للماء. هذا بالإضافة إلى ما يضيفه الثلج من وزن للعبوة. وما قد يسببه الثلج المذاب من مشاكل للمنتجات المجاورة له عند تواجد منتجات مختلفة معًا أثناء الشحن أو التخزين (Thompson ٢٠٠٤).

وعلى الرغم من بساطة التبريد بهذه الطريقة وكونها من أقدم طرق التبريد الأوَّلى، فإنه لم يعد مرغوبًا فيها للأسباب التى أسلفنا بيانها. وعمومًا .. فهى تناسب الخضر الجذرية والورقية، وكذلك البسلة والأسبرجس والذرة السكرية، ومازالت مستعملة مع البروكولى.

أما الخضر التالية فإنها تضار جراء إضافة الثلج إليها:

الفراولة	الطماطم	الكوسة	الفاصوليا الخضراء
الخيار	الثوم	البامية	البصل
خس الرومين	الأعشاب		

(عن Boyette وآخرين ١٩٨٩).

إضافة الثلج للكراتين المعبأة كل على حدة:

إن أبسط طريقة للتبريد بالثلج هي إضافة كمية محدودة من الثلج المجروش يدويًا إلى قمة كل كرتونة معبأة بالمنتج، ولكن يعاب على هذه الطريقة عدم انتظام التبريد لأن الثلج يبقى – عادة – في مكانه الذي وضع فيه إلى حين ذوبانه. ونظرًا لضرورة فتح كل كرتونة وإضافة الثلج إليها ثم إعادة إغلاقها. فإن هذه الطريقة لإضافة الثلج تعد بطيئة ومكلفة. ولقد أمكن ميكنة تلك الطريقة جزئيًا باستعمال وسائل لدفع الثلج المجروش من خلال الفتحات التي توجد في قمة الكراتين مع استعمال سيور متحركة أو دُحروجات rollers لحركة الكراتين عليها.

إضافة الثلج على قمة البالتات:

يعرف إضافة طبقة من الثلج المجروش بسمك حوالي ٥-١٠سم على قمة البالتات التي سبق تبريد المنتج فيها أوليًا باسم top icing. يحدث ذلك – عادة – قبل تحرك الشاحنات الحاملة لتلك البالتات مباشرة.

هذا إلا أن هذه الطريقة لا تفيد سوى في منع حدوث زيادة كبيرة في درجة الحرارة داخل حمولة الشاحنة؛ لأن الثلج لا يكون له تأثير في التبريد سوى على الطبقة السطحية من المنتج، كما أن الماء المثلج الذي ينتج عن ذوبان الثلج يتسرب – عادة – من المسافات التي توجد بين الكراتين والبالتات دون أن يكون له تأثير كبير في تبريد المنتج ذاته (Boyette & Estes ١٩٩٢).

هذا .. ويتطلب خفض حرارة المنتج من ٣٥°م إلى ٢°م باستعمال الثلج إلى استخدام

كمية من الثلج تعادل ٣٨٪ بالوزن من المنتج المراد تبريده أوليًّا (Rennie وآخرون ٢٠٠٣).

ويفضل دائمًا الاستعانة بآلات تصنيع الثلج المجروش عن كتل الثلج لأن الأخيرة أقل كفاءة فى استهلاك الطاقة. ولكن يعاب على الثلج المجروش عدم إمكان تخزينه أو نقله؛ ذلك لأنه سريعًا ما يتحول إلى كتلة ثلجية؛ مما يجعل من الصعب استعماله. ولكن ما لم تكن الحاجة إلى الثلج المجروش مستمرة لفترات طويلة خلال العام، يصبح من الأوفر شراء كتل الثلج من المصانع.

يتعين دائمًا تكسير وجرش كتل الثلج الكبيرة قبل استعمالها. حيث لا يجب أن يزيد قطرها عن السنتيمتر ليمكنها التسرب من خلال الفجوات فى العبوات. كما أن احتمالات إصابة المنتج بالأضرار الميكانيكية تزيد عند استعمال قطع الثلج الكبيرة عما يكون عليه الوضع عند استعمال القطع الصغيرة.

وجدير بالذكر أن إضافة الثلج على قمة البالتات أو الكراتين المعبأة بمنتج تم تبريده بالفعل تعد طريقة فعالة لتأكيد استمرارية تبريد المنتج لحين وصوله إلى مكان التسويق. هذا .. إلا أن استمرار التبريد بهذه الطريقة لا يوصى به لعدد كبير من المنتجات الطازجة مثل الفراولة التى لا تتحمل الابتلال، والطماطم والكوسة اللتان لا تتحملان التعرض لحرارة قريبة من درجة التجمد.

ومن أمثلة الخضر التى يمكن استمرار تبريدها بالثلج بنجاح: الأسبرجس، والبروكولى، والكنتالوب، والجزر، والقنبيط، والبصل الأخضر، والخضر الورقية، والذرة السكرية (Boyette & Estes ١٩٩٢).

التبريد الأوّلى بالثلج المخلوط مع الماء المثلج

يستخدم مخلوط الثلج مع الماء ice slurry فى عملية التبريد الأوّلى؛ بهدف توصيل الثلج إلى الفراغات المحيطة بالمنتج بدلاً من بقائه فوق السطح كما فى حالة الـ top

icing. ويتكون الملاط (المخلوط المتدفق) – عادة – من ٦٠٪ ثلج مجروش ناعم، و ٤٠٪ ماء، ويضاف إليهما ٠.١٪ كلوريد صوديوم لتخفيض درجة ذوبان الثلج. هذا .. إلا إنه قد تستعمل نسب أخرى من الثلج والماء (Thompson ٢٠٠٣).

يفيد اتباع هذه الطريقة – خاصة – مع المنتجات الكثيفة التواجد داخل عبواتها والتى يصعب تبريدها بالدفع الجبرى للهواء، حيث يمكن أن يفيد معها إما إضافة الثلج على الباليتات top icing، أو إضافة الثلج مع الماء liquid icing (أو slush icing). ففى الحالة الأولى يضاف الثلج المجروش على قمة المنتج يدويًا أو آليًا. أما فى الحالة الثانية فإن خليط من الماء مع الثلج يتم حقنه داخل عبوات المنتج من خلال فتحات التهوية دونما تحريك للعبوات من الباليتات أو فتحها. تفيد هذه الطريقة – خاصة – مع المنتجات التى يرتفع فيها معدل التنفس مثل البروكولى، والذرة السكرية. ويكفى – عادة – كيلوجرام واحد من الثلج لخفض حرارة ثلاثة كيلوجرامات من المنتج من ٢٩ إلى ٤ °م (عن Boyette وآخرين ١٩٨٩).

وتلك هى الطريقة المثلى عند الحاجة لتبريد كمية كبيرة من المنتج فى وقت قصير. ولا تتطلب هذه الطريقة سوى آلة لجرش الثلج، وتانك مزود بخلاط لاستيعاب الثلج المخلوط بالماء، ومضخة، وخرطوم لإيصال الثلج السائل بالكراتين من خلال ما يوجد بها من فتحات.

تجمع هذه الطريقة بين مميزات إضافة الثلج للكراتين المعبأة والتبريد الأوّلى بالماء البارد، ذلك لما للماء المثلج فى المخلوط من تأثير فى سرعة التبريد، حيث يعطى حوالى ٤٠٪ من حاجة التبريد بسرعة كبيرة. بينما يُستكمل باقى التبريد مع ذوبان الثلج داخل الكراتين (Boyette & Estes ١٩٩٢).

التبريد المائى

يتم التبريد المائى Hydrocoolin بالغمر فى الماء المثلج، أو بإمرار المنتج تحت رذاذ

من الماء المثلج. وهى من أكفاء وأسرع طرق التبريد الأوّلى. لكن يشترط لنجاحها أن تكون درجة حرارة الماء قريبة من الصفر المئوى، وأن يظل المحصول معرضًا للماء لفترة كافية حتى يتم تبريده. ومما يقلل من كفاءة هذه الطريقة ألا يكون الماء المستخدم باردًا بالقدر الكافى، أو ألا يتعرض المحصول له لمدة كافية.

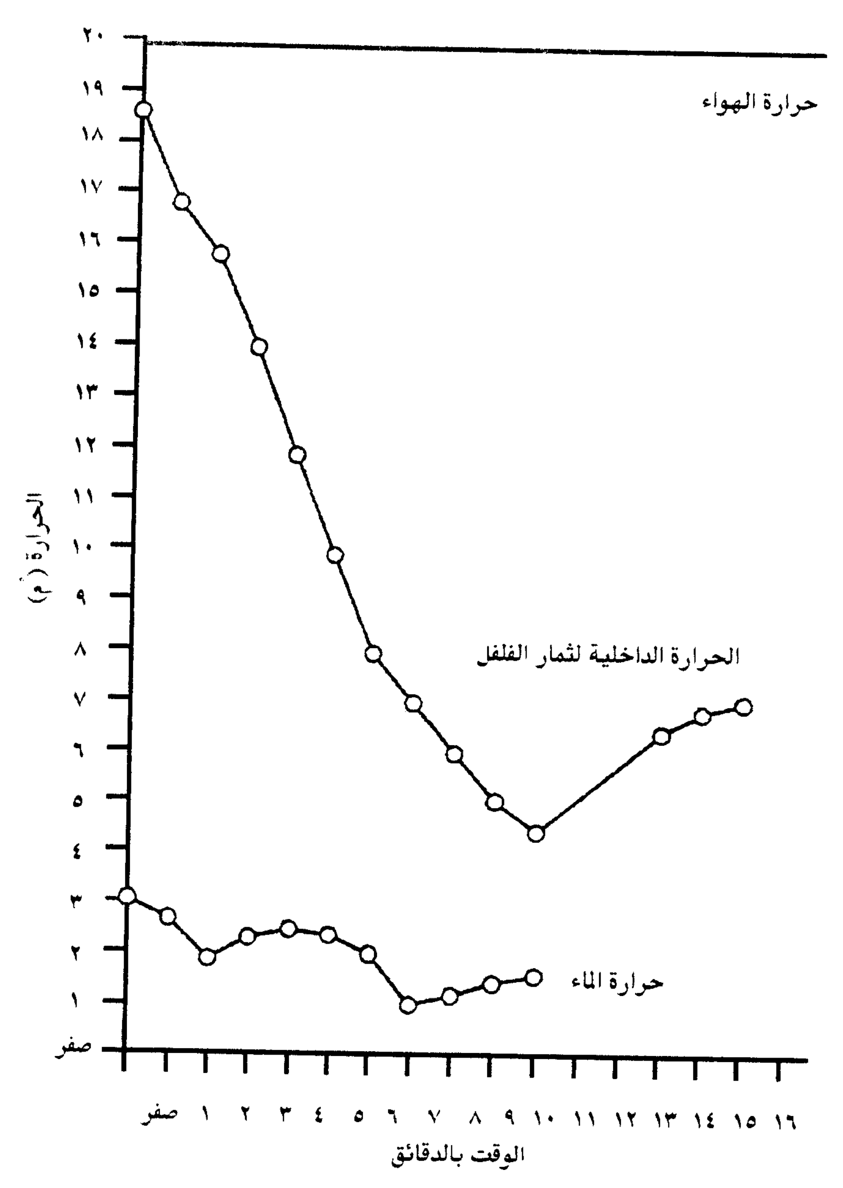
ومن مزايا هذه الطريقة: سرعة التبريد (شكل ٨-١)، وزيادة نضارة الخضروات الذابلة، ولكن يعيبها المساعدة على انتشار الكائنات المسببة للعفن فى حالة إعادة استخدام الماء المثلج. وتصلح هذه الطريقة لتبريد كل من: الجزر، والفجل، والكرفس، والذرة السكرية، والخرشوف، والهندباء، والبطيخ، والبنجر، والبصل الأخضر، والسبانخ والأسبرجس. وبصفة عامة .. فهى تناسب الخضر الجذرية والساقية والورقية والزهرية والكنتالوب.

ولا يناسب التبريد الأوّلى باستعمال الماء البارد المنتجات التى لا يمكنها تحمل الابتلال، مثل البطاطس، والبطاطا، والبصل، والثوم.

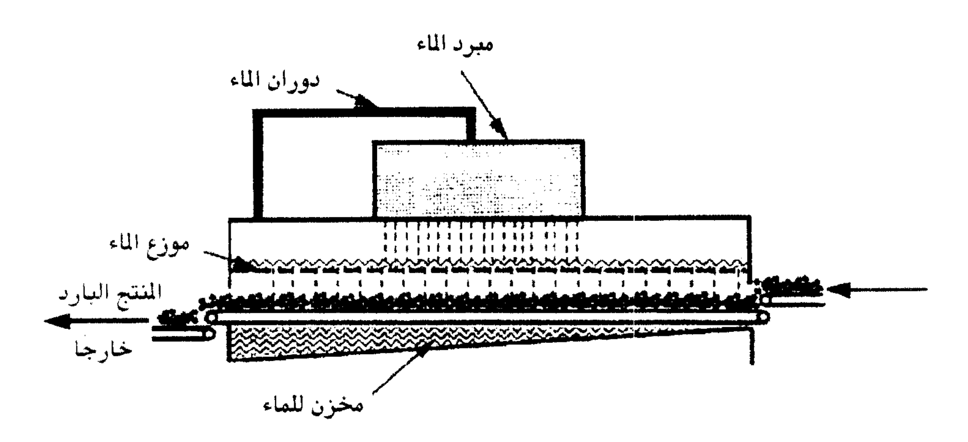
ويعد الماء البارد أسرع خمس مرات من الهواء فى سرعة التخلص من الحرارة، ولكنه أقل كفاءة من الهواء البارد فى استخدام الطاقة (Stewart & Couey ١٩٦٣، و Lutz & Hardenburg ١٩٦٨، و Boyette وآخرون ١٩٨٩).

ويجرى التبريد الأوّلى مائيًا hydrocooling بتحريك ماء بارد حول المنتج إما رشًا (شكل ٨-٢)، وإما بغمر المنتج مباشرة فى الماء البارد (شكل ٨-٣).

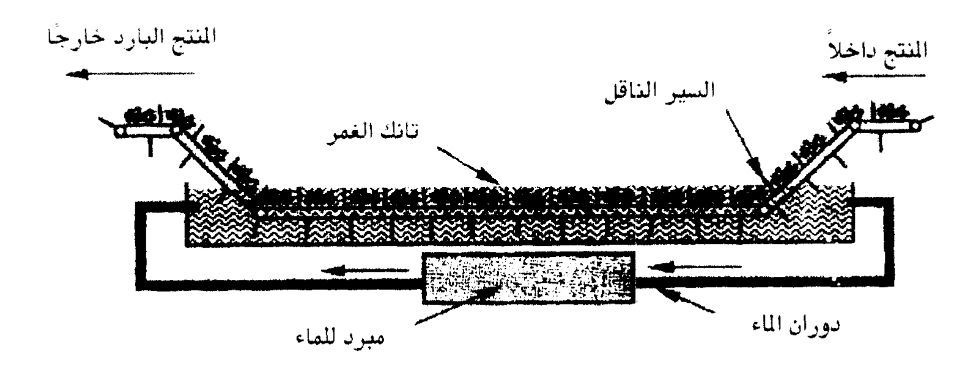
يمكن أن يتم التبريد بطريق الرش shower coolers بإمرار المنتج على سير متحرك تحت "دش" من الماء البارد. كما قد يستعمل السير المتحرك وهو مغمور فى ماء بارد بما عليه من منتج، لكن طريقة الغمر لا تناسب إلاّ المنتجات التى لا تطفو على سطح الماء، كما أنها أقل كفاءة من طريقة "الدش" لأن حركة الماء حول المنتج تكون أقل فيها مما فى طريقة رش الماء (Thompson ٢٠٠٤).



شكل (٨–١): معدل الانخفاض فى حرارة التجويف الداخلى لثمار الفلفل الحلو مع الوقت مقارنة بحرارة ماء التبريد (Thompson ٢٠٠٣).



شكل (٨-٢): رسم تخطيطى لجهاز تبريد أوَّلى بطريقة الرش المستمر بالماء البـــارد.



شكل (٨-٣): رسم تخطيطى لجهاز تبريد أوَّلى بطريقة الغمر المستمر فى الماء البارد.

يعد الماء وسطًا أفضل من الهواء لانتقال الحرارة، ولذا .. فإن التبريد الأوَّلى المائى يكون أسرع مما فى طريقة الدفع الجبرى للهواء. ويمكن أن يتم تبريد المنتجات ذات الأحجام الثمرية الصغيرة — مثل الكريز — فى خلال عشر دقائق تحت "الدش البارد" على السير المتحرك، بينما يستغرق تبريد ثمار الكنتالوب بين ٤٥، و ٦٠ دقيقة بنفس النظام، وتزداد مدة التبريد عن تلك الحدود فى حالة الغمر فى الماء البارد مع السير المتحرك.

يجب أن تسمح عبوات المنتج -- فى حالة التبريد الأوَّلى المائى -- بالحركة الرأسية للماء، كما يجب أن تتحمل تلك العبوات التعرض للماء. وأنسب العبوات لذلك البلاستيكية والخشبية. وإذا ما استعملت العبوات الكرتونية فإنها يجب أن تكون معاملة بالشمع لكى تتحمل ملامسة الماء لها.

هذا .. ولا يتسبب التبريد الأوَّلى المائى فى أى فقد رطوبى من المنتج؛ بل إنه يمكن أن يكسب المنتج ماءه الذى يكون قد فقده بعد الحصاد وحتى التبريد.

ويُعاب على هذه الطريقة أن ماء التبريد يعمل على انتشار الكائنات المسببة للعفن؛ ولذا يتعين أن يكون الماء المستعمل صالح للشرب وأن يعامل بالكلور للحد مما قد يتواجد فيه من كائنات مسببة للعفن (Thompson ٢٠٠٤).

وتتميز طريقة التبريد الأوَّلى بالماء البارد بما يلى:

١- سرعة التبريد.

٢- تسمح بزيادة معدلات الحصاد حسب متطلبات الأسواق.

٣- تسمح بتداول كميات كبيرة من المنتج. كما يمكن تصميم وحدات صغيرة لتبريد الكميات المحدودة.

٤- تعتبر أقل طرق التبريد الأوَّلى من حيث التكلفة الإنشائية.

ولكن توجد محددات لاتباع هذه الطريقة كما يلى:

١- لا تستعمل إلا مع المنتجات التى لا تكون حساسة للبلل؛ علمًا بأن كثيرًا من الأمراض تزداد سرعة انتشارها فى وجود الرطوبة الحرة.

٢- تكون غالبًا أقل كفاءة فى استهلاك الطاقة عن غيرها من طرق التبريد الأوَّلى.

٣- توجد قيود على أنواع العبوات التى يمكن استعمالها مع التبريد الأوَّلى بالماء البارد. وكذلك على طريقة تستيفها (Boyette وآخرون ١٩٩٢).

يمكن أن يحتوى ماء التبريد المثلج على كائنات دقيقة ضارة سواء أكان ضررها على المنتج أم على الإنسان. ويمكن التخلص من الأطوار الخضرية لتلك الكائنات بكلورة

الماء بتركيز ٥٥–٧٠ جزء فى المليون. ولكن الأطوار الجرثومية لهذه الكائنات تزداد صعوبة قتلها بمقدار ١٠ إلى ١٠٠٠ ضعف الأطوار الخضرية ولا يفيد الكلورين فى التخلص منها.

يمكن التوفير فى الطاقة عند استعمال وحدات التبريد بالماء المثلج بمراعاة ما يلى:

١– عزل كل الأسطح الباردة جيدًا وجعل وحدات التبريد بعيدة عن التعرض للرياح وأشعة الشمس.

٢– وضع ستائر بلاستيكية مدلاه عند مدخل ومخرج المبردات العادية للحد من اكتساب ماء التبريد للحرارة جراء تلامسه مع الهواء الخارجى الدافئ.

٣– تشغيل وحدات التبريد بأقصى قدرتها ودونما انقطاع لأن عدم مراعاة ذلك يزيد دون مبرر من استهلاك الطاقة.

٤– استعمال تانك مناسب الحجم لاستيعاب الماء فى وحدات الغمر. لأن الحجم الزائد يعنى فقدًا للطاقة التى استعملت فى تبريد الماء عندما يتم التخلص من الماء المستعمل فى نهاية الأمر.

توجد فى معظم وحدات التبريد بالماء البارد hydrocoolers مضخة تحرك الماء المثلج ليتلامس مع المنتج الدافئ. ثم يُجمع الماء ثانية ليعاد تبريده وضخه مرة أخرى. ويتم تبريد الماء بالاستعانة بمبردات عادية. هذا .. إلاّ أن بعض وحدات التبريد تعتمد على الثلج فى تبريد الماء، حيث يتم نقل كتل كبيرة من الثلج – قد يصل وزن الواحدة منها إلى ١٥٠ كجم – من مصانع الثلج إلى محطة التعبئة، حيث تُسحق وتضاف حسب الحاجة إلى تانك من الماء متصل بوحدة التبريد الأوّلى. وتعد هذه الطريقة فى التبريد أقل فى التكلفة الإنشائية وأنسب للاتباع عند محدودية كمية المنتج الذى يراد تبريده. أو قِصَر فترة موسم الحصاد. ولكن يتعين عند الاعتماد عليها التأكد من وجود مصدر للثلج موثوق فى استمراريته.

وأكثر أنواع العبوات استخدامًا عند استعمال الماء البارد فى التبريد الأوّلى هى الكراتين

المشمعة waxed fiberboard cartons. ويتعين أن توجد بتلك الكراتين فتحات بالقمة والقاع لكى تسمح بمرور الماء المثلج خلالها عندما ترصّ فى بالتات.

إن من بين أنواع المبردات بالماء البارد hydrocoolers ما يلى:

١- المبردات التقليدية conventional hydrocoolers :

تسمح المبردات التقليدية للمنتج – سواء أكان فى كرتونات. أم فى الصحارات الكبيرة bins – بالمرور على سير متحرك تحت دش من الماء المثلج. ويكون تحرك المنتج – عادة – بسرعة حوالى ٣٠سم فى الدقيقة ولكن يمكن تعديل هذه السرعة. ويتحدد – عادة – موديل المبرد بطول سير التبريد. فيقال – مثلاً – أنه ١٠ أقدام؛ بمعنى أن المنتج يخضع للتبريد فيه لمسافة ١٠ أقدام على الرغم من أنه قد يكون بطول ٢٠ قدمًا. علمًا بأن الفارق بين الطولين يخصص لكل من التزود بالمنتج، وإخراجه. وكلما ازداد طول جزء السير الذى يحدث فيه التبريد كلما ازدادت كفاءة المبرد. وتوجد مبردات يصل فيها طول السير الذى يحدث فيه التبريد إلى ٥٠ قدمًا ويصل عرضه إلى ثمانى أقدام. هذا .. إلاّ إنه لا يكفى تحديد قدرة المبرد على التبريد بمجرد طول السير دون أن يؤخذ فى الاعتبار سرعته، وعرضه، وحرارة ماء التبريد، ومعدل تدفقه، ومدى الانخفاض المطلوب فى حرارة المنتج. ويتدفق الماء المثلج على السير المتحرك – عادة – بمعدل ٢٠ جالون (٧٥,٧ لتر) فى الدقيقة لكل قدم^2 (٠.٠٩٢٩م^2) من مساحة التبريد بالسير. فمثلاً إذا كان السير الذى يحدث فيه التبريد بطول ٢٠ قدم (٦.٠٩٦م) وبعرض ٤ أقدام (١.٢٢م) أى بمساحة ٨٠ قدم مربع (٧.٤٣م^2) فإنه يحتاج إلى ضخ الماء المثلج بمعدل ١٦٠٠ جالون (٦٠٥٦ لتر) فى الدقيقة. ونظرًا لضخامة هذه الوحدات فإنه يتعين وجود منتَج كافٍ لتشغيلها بكفاءة لفترات طويلة من العام.

٢- مبردات الوحدات batch hydrocoolers :

تحتوى مبردات الوحدات على مكان مغلق تبرد فيه كمية من المنتج وهى فى بالتات. تُحمل تلك البالتات باستعمال رافعة شوكية حيث يغلق مكان التبريد بعد ذلك ليتدفق عليه كميات كبيرة من الماء المثلج. حيث تجمع من أسفل ويعاد تبريدها واستعمالها.

وغالبًا .. لا يمكن لهذا النوع من المبردات تبريد أكثر من بالتة واحدة فى وقت واحد. ولكن يمكن تصميم وحدات يمكنها تبريد حتى ثمانى بالتات فى المرة الواحدة. وعمومًا فهذه المبردات أقل تكلفة وتناسب صغار المزارعين.

ومن أهم عيوب المبردات العادية ومبردات الوحدات عدم تجانس عملية التبريد نظرًا لعدم تجانس توزيع الماء المثلج أثناء مروره على المنتج؛ مما يتسبب فى ضعف التبريد فى أجزاء منه. وللتغلب على هذه المشكلة تزود بعض مبردات الوحدات بمروحة عالية القدرة على جذب رذاذ دقيق من الماء المثلج خلال العبوات. علمًا بأن جذب المراوح للماء يكون بطريقة أكثر تجانسًا عما يحدث بتأثير الجاذبية وحدها. وتعرف هذه الوحدات باسم hydro-air cooling.

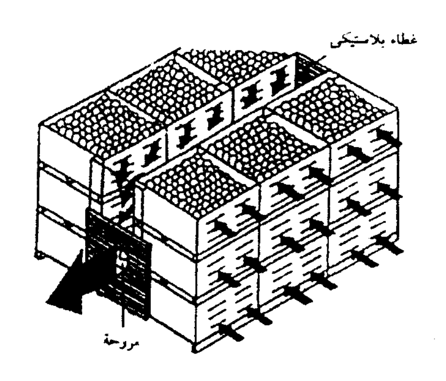
٣- مبردات الغمر immersion hydrocoolers:

تكون مبردات الغمر كبيرة وغير عميقة، ومستطيلة تسمح باستيعاب ماء بارد متحرك. توضع عبوات المنتَج الدافئ فى أحد نهايتى حوض التبريد وتتحرك بسير متحرك مغمور فى الماء إلى النهاية الأخرى، حيث ترفع. ويمكن الاستفادة بثلج مسحوق للمحافظة على برودة الماء، وبمضخة للمحافظة على حركة الماء. وتتحدد مدة بقاء المنتج فى الماء بحرارته الابتدائية ومقدار الخفض المطلوب فى حرارته.

وتزيد كفاءة هذا المبرد بمقدار الضعف عن كفاءة تبريد النوعين الآخرين، بسبب ملامسة الماء البارد التامة لكل منتج (Boyette وآخرون ١٩٩٢).

التبريد الأوَّلى بطريقة السريان الجبرى للهواء

يتشابه التبريد بطريقة السريان أو الدفع الجبرى للهواء Forced Air Cooling مع الطريقة الأولى من حيث إجرائها على الخضر المعبأة والموضوعة فى غرف ثابتة. وتختلف عنها فى أن الهواء يتم توجيهه فى مسارات محددة يتخلل خلالها العبوات التى يتم رصها بطريقة معينة (شكل ٨-٤). وهى تعطى تبريدًا سريعًا جدًا. بالمقارنة بالطريقة الأولى.



شكل (٨–٤): مسار الهواء فى التبريد الآلى بطريقة السريان الجبرى للهواء (عــن Wills وآخرون ١٩٨١).

تتوقف فترة التبريد الأوّلى بنظام الدفع الجبرى للهواء على العوامل التالية:

١– التعبئة والمواد التى تصنع منها العبوات.

٢– تصميم الكراتين ومساحة التهوية الكلية بها.

٣– نظام "تستيف: ورص الكراتين.

٤– معدل تدفق الهواء وتصميم نفق التبريد.

٥– قدرة الثلاجات على التبريد ونظام التبريد المستخدم فيها.

وللمقارنة .. فإن الفراولة المعبأة فى الكراتين القياسية يمكن أن تبرد بنظام الدفع الجبرى للهواء حتى صفر إلى –١°م فى حوالى ساعة واحدة إلى ساعة ونصف الساعة. بينما يمكن تبريد الكنتالوب المعبأة فى كراتين تحتوى على فتحات تهوية بنسبة ٤٪–٥٪ من مساحة جدرانها إلى ١–٣°م فى نحو ساعتين ونصف إلى ثلاث ساعات (Tator ١٩٩٧).

يتميز التبريد الأوّلى بالدفع الجبرى للهواء بما يلى:

١– تقصير الفترة التى تمضى لحين تبريد المحصول؛ بما يعنى تقليل التدهور الذى يصاحب الارتفاع فى حرارته.

٢- تقصير فترة عملية التبريد؛ بما يعنى زيادة كفاءة الاستفادة من وحدات التبريد ذاتها.

٣- يمكن اتباع تلك الطريقة فى تبريد عدد متنوع من المنتجات فى عبوات مغلقة دونما حاجة إلى بلِّها أو إخضاعها لعمليات تداول إضافية.

٤- تكون هذه الطريقة أكثر كفاءة فى استهلاك الطاقة عن التبريد فى غرف التبريد عندما يُراد تبريد كمية كبيرة من المنتج.

٥- يمكن تحويل حجرة تبريد مبردة مزودة بوحدات تبريد جيدة إلى وحدات تبريد بالدفع الجبرى للهواء بقدر يسير من الاستثمار فى المراوح (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

هذا .. ويعرف طرزان من أجهزة التبريد المستخدمة فى المخازن المبردة، ومع التبريد الأولى بطريقة الدفع الجبرى للهواء، هما:

١- طراز الملف المبتل wet spray deck style.

٢- طراز الملف الجاف dry-coil high humidity.

لكل من الطرازين مميزاته وعيوبه، ولكن طراز الملف الجاف هو الأكثر انتشارًا (Tator ١٩٩٧).

ونلقى مزيدًا من الضوء على طرازى أجهزة التبريد فى الفصل العاشر.

لا يمكن الاعتماد على المراوح التى تدفع الهواء خلال ملفات التبريد فى الحجرات المبردة لأجل التبريد بطريقة الدفع الجبرى للهواء. فهذه المراوح لا تكون كبيرة بالقدر الكافى، ولا يتناسب مكانها مع عملية التبريد الأوَّلى. كذلك فإن الهواء الخارج من الملفات مباشرة يكون شديد البرودة ولا يجوز استعماله – مباشرة – فى عملية التبريد الأوَّلى، وإنما يلزم خلطه أولاً بالهواء الدافئ – نسبيًا – الموجود فى باقى أجزاء الغرفة، بما يعنى الحاجة إلى مراوح إضافية لتحريك الهواء خلال المنتج. ولتحقيق أفضل توزيع للحرارة فإن تلك المراوح يجب أن تسحب – لا أن تدفع – الهواء خلال المنتج.

ولأن الهواء يُجبَر على أن يمر خلال عبوات المنتج بسبب الفرق فى ضغط الهواء بين

جانبى تلك العبوات. فإن يكون من الضرورى أن تكون العبوات ممتلئة جيدا. وأن تكون مرصوصة بطريقة تكون معها الفجوات والفتحات فى حدها الأدنى. لأن الهواء يمر خلالها بسرعة أكبر مما يمر بها من خلال المنتج، مما يتطلب زيادة فترة التبريد. كذلك يجب الاكتفاء بصف واحد من البالتات بعرض ٩٠-١٢٠سم لصعوبة مرور الهواء من خلال صفين من البالتات مع استعمال مراوح قوية جدًا (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

ومن أهم ما تجب ملاحظته بشأن المراوح المستخدمة فى الدفع الجبرى للهواء البارد، ما يلى:

١- يجب أن تكون المروحة أو المراوح المستعملة قادرة على سحب الهواء بمعدل ٢,٥-٣,٤م^{3} فى الساعة لكل كيلوجرام واحد من المنتَج المراد تبريده عند حد أدنى لضغط الهواء قدره ٢٥,٤-٣٨,١ مم ماء).

٢- يجب أن تكون المروحة أو المراوح المستعملة مصممة بسرعات مختلفة يمكن التحكم فيها لتناسب مختلف المنتجات. وسرعة التبريد أثناء دورات التبريد.

٣- يمكن استعمال مراوح إضافية لتوجيه الهواء الخارج من النفق نحو ملفات التبريد.

٤- يجب تصميم دفع الهواء بحيث لا يزيد الارتفاع فى درجة حرارة الهواء الخارج من النفق عن الهواء الداخل فيه عن ١.٥-٢.٠ْم على الأكثر.

٥- يجب أن يتخلل الهواء الداخل إلى النفق والخارج منه كل الكراتين بالنفق حتى لا يحدث تفاوت كبير فى حرارة المنتَج بها.

٦- يجب أن يكون النفق واسعًا بقد يسمح بالأ تزيد سرعة الهواء عن ٣٠٠ متر فى الدقيقة. ذلك لأن السرعة العالية تسبب عدم تجانس توزيع الهواء وعدم تجانس الضغط فى الأجزاء المختلفة من النفق.

إن فترة التبريد الأوّلى التى تلزم عند اتباع طريقة الدفع الجبرى للهواء تتحدد بكل من سرعة وحجم تيار الهواء البارد وقطر ثمار المنتج الذى يُراد تبريده. وغالبًا ما تعمل هذه المبردات بمعدل لتر واحد من الهواء لكل كيلوجرام واحد من المنتج فى الثانية (حوالى قدم

مكعب من الهواء لكل رطل من المنتج فى الدقيقة) بمدى يتراوح بين ٠,٥ إلى ٢,٠ لتر لكل كيلوجرام فى الثانية.

وبمعدل لتر واحد من الهواء البارد المدفوع لكل كيلوجرام من المنتج فى الثانية يلزم لتبريد محصول مثل العنب حوالى ساعتين، بينما يلزم لتبريد الكنتالوب — الأكبر حجمًا — أكثر من خمس ساعات.

يجب أن تحتوى جوانب الكراتين على فتحات بجدرانها بنسبة حوالى ٥٪ من مساحة الجدران؛ لتسمح بمرور الهواء من خلالها بحرية دون أن يحدث انخفاض كبير لضغط الهواء بداخلها. أما مواد التعبئة الداخلية فإنه يجب اختيارها بحيث لا تؤثر كثيرًا على تحرك تيار الهواء من خلال الكراتين.

يتسبب الدفع الجبرى للهواء فى فقد بعض الرطوبة من المنتَج أثناء تبريده، وقد يكون هذا الفقد ضئيلاً جدًا فى المنتجات التى يقل فيها كثيرًا معدل النتح مثل ثمار الموالح. وقد يصل إلى نسبة يعتد بها من الوزن الأصلى للمنتج فى المنتجات التى يرتفع فيها معدل النتح. ويرتبط الفقد الرطوبى خطيًا مع الفرق بين درجتى الحرارة الابتدائية والنهائية للمنتَج، وبذا .. تؤدى الحرارة الابتدائية العالية للمنتَج على زيادة الفقد الرطوبى عما لو كان المنتج ذا حرارة منخفضة — نسبيًا — ابتداء. ويمكن خفض الفقد الرطوبى بتعبئة المنتج فى أكياس أو لفة بالبلاستيك ولكن ذلك يتطلب زيادة فترة التبريد.

تعد طريقة الدفع الجبرى للهواء أقل طرق التبريد الأوّلى كفاءة فى استهلاك الطاقة. ولكنها أكثر الطرق شيوعًا نظرًا لصلاحيتها لمدى واسع من المنتجات ونظم التعبئة. ويمكن تجهيز حجرات التبريد القائمة بوحدات صغيرة منها (Thompson ٢٠٠٤).

ونظرًا لأن الدفع الجبرى للهواء يعمل على زيادة فقد المنتج لبخار الماء، ومن ثم ذبوله وفقدانه لجودته، فإنه يتعين المحافظة على رطوبة نسبية عالية تتراوح بين ٩٠٪، و ٩٨٪ فى المخازن المبردة إذا ما تركت فيها المنتجات المبردة ولو لساعات قليلة قبل شحنها.

وإذا ما كان الماء المتكثف على ملفات التبريد ينصرف على الخارج فإن الرطوبة النسبية داخل الغرف المبردة قد تصبح شديدة الانخفاض. ويمكن الحد من ذلك التكثف المائى بدرجة كبيرة بخفض الفارق فى درجة الحرارة بين الهواء الداخل فيها والخارج منها إلى ٢,٥ °م، الأمر الذى يمكن تحقيقه بزيادة حجم الملفات وأعدادها. وعمليًا .. يصعب تحقيق مستويات رطوبة نسبية تزيد عن ٨٠٪ أو ٨٥٪ ما لم تزود حجرات التبريد بنظام للترطيب، أو بالإدارة الجيدة جدًّا للمكان.

ومن بين الوسائل المتبعة لزيادة الرطوبة النسبية رش الأرضيات بالماء من وقت لآخر. إلاّ أن ذلك الإجراء قد لا يتفق مع متطلبات الصحة العامة، وقد لا يكون كافيًا، كما أن الرطوبة العالية جدًّا لفترات طويلة تحفز نمو الأعفان والفطريات. ويكون من الأفضل غالبًا تزويد حجرات التبريد بوحدات للترطيب (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

التبريد الأولى بالتفريغ

يعتمد التبريد بالتفريغ Vacuum Cooling على أساس أن تعرض المنتجات الطازجة للتفريغ وهى فى حيز مغلق يؤدى إلى تبخر الرطوبة منها. ويؤدى ذلك تلقائيًا إلى انخفاض درجة حرارتها؛ لأن عملية تبخر الماء تلزمها طاقة يُتَحصَل عليها من المنتجات ذاتها. وتصلح هذه الطريقة للمنتجات ذات الأسطح التبخيرية الكبيرة؛ مثل الخضر الورقية عمومًا. ويلزم إجراءها على الخضروات وهى مبتلة؛ حتى لا تفقد نسبة كبيرة من رطوبتها.

وعند إجراء التبريد بهذه الطريقة توضع المنتجات معبأة فى حجرات من الصلب محكمة الإغلاق، ومجهزة بوسائل لتخفيض الضغط الجوى فيها بسرعة حتى يصل إلى ٤.٦مم زئبق، حيث يغلى الماء حينئذٍ فى درجة حرارة الصفر المئوى. وإذا ما حوفظ على هذا الضغط لفترة كافية فإن حرارة المنتَج تنخفض إلى الصفر المئوى.

وتفقد الخضر الورقية من ١,٥٪–٤.٧٪ من وزنها؛ بسبب فقد الرطوبة أثناء التبريد. ويكون الفقد بمعدل ١٪ لكل انخفاض قدره ٦ °م فى حرارة المنتج.

وتتوقف سرعة التبريد على سرعة فقد الرطوبة، ولهذا يفضل رش بعض الماء على المنتجات قبل تعريضها للتفريغ. ويساعد ذلك على سرعة تبريد بعض المنتجات، كالذرة السكرية، كما يقلل من الفقد في الوزن، حيث يكون التبخر من الماء المستخدم في بلّ المحصول. وتزود بعض المبردات التي من هذا النوع بنظام لرش الماء يمكن تنشيطه أثناء دورة التبريد.

وتختلف الحاصلات البستانية في سرعة انخفاض درجة حرارتها عند تبريدها أوليًا بهذه الطريقة. فبمقارنة عدة أنواع من الخضر عند تعريضها للتفريغ لمدة ٢٥–٣٠ دقيقة مع وصول أقصى تفريغ إلى ٤–٤,٦ مم زئبق، وجد أن درجة الحرارة النهائية قد تراوحت بين ١,٠ و ١٨ °م. وتوقف ذلك على سرعة فقد الرطوبة من الأنسجة النباتية. وكان أعلى معدل لفقد الرطوبة في محصولي الخس والبصل الأخضر، حيث اقتربت درجة حرارة المحصول من ١ °م، بينما كان الفقد الرطوبي قليلاً في البطاطس والكوسة، ونتج عن ذلك بطء عملية التبريد (جدول ٨–١). ولا يستغرق تبريد الخضر الورقية أوليًا بهذه الطريقة سوى ٢٠–٣٠ دقيقة حتى ولو كان المنتج معبأ في أغشية من البوليثيلين.

ويحدث معظم التبخر المائي والتبريد في فترة قصيرة، لكن من الضروري المحافظة على الضغط المنخفض لفترة إضافية للتخلص من الحرارة بالأنسجة اللحمية. ويعتبر ضغط ٤مم زئبق لمدة ٢٥–٣٠ دقيقة كافيًا لمعظم الخضروات (Barger ١٩٦٣). وينصح في حالة تبريد الخس المعبأ في كرتونات خفض الضغط إلى ٣,٨ مم زئبق، حيث تصل حرارة المنتج إلى ١ °م خلال ١٥ دقيقة فقط، دون وجود أي خطر من التعرض للتجمد. بينما يلزم مرور ٢٣ دقيقة في حالة خفض الضغط إلى ٤,٦ مم زئبق. ويعد التوفير في الوقت ذا أهمية كبيرة، خاصة في ذروة موسم الحصاد، حيث تشتد الحاجة إلى التبريد بالتفريغ (Barger ١٩٦٢).

يعد التبريد بالتفريغ شديد الكفاءة مع الخضر الورقية (مثل الخس الآيس برج والسبانخ)، حيث لم يتعد الوقت الذي لزم لتبريدها إلى ٥ °م ١٥٥ ثانية بالنسبة للخس

الآيس برج، وأقل من ذلك بالنسبة للسبانخ. هذا فى الوقت الذى تتطلب فيه الخضر غير الورقية (مثل الفلفل والقنبيط) أكثر من ٢٠ دقيقة لتبريدها. وبالمقارنة .. فإن طريقة الدفع الجبرى للهواء كانت أبطأ فى التبريد بالنسبة للخضر الورقية عنها بالنسبة للخضر غير الورقية، حيث تطلب التبريد حتى ٥°م أكثر من ست ساعات بالنسبة للخضر الورقية، ونحو ١٠٠ دقيقة بالنسبة للخضر غير الورقية. ويستفاد مما تقدم أن التبريد بالتفريغ أسرع بكثير من التبريد بطريقة الدفع الجبرى للهواء حتى بالنسبة للمنتجات غير الورقية (Sun ١٩٩٩).

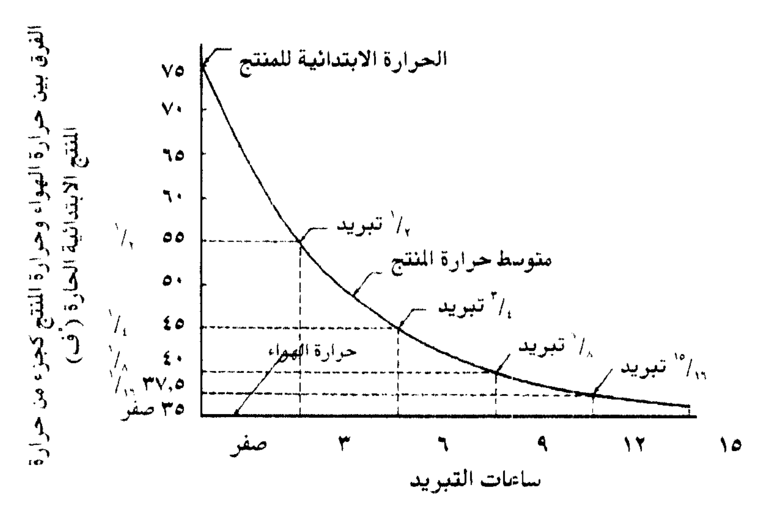
جدول (٨–١): حرارة المنتجات بعد ٢٥–٣٠ دقيقة من التبريد تحت تفريغ عند ٤,٠–٤,٦ ملليمتر زئبق، مع حرارة مكثف قدرها –١,٧ إلى صفر°م، وحرارة ابتدائية للمنتج قدرها ٢٠–٢٢,٥°م (عن Barger ١٩٦٣).

المنتج	حرارة المنتج بعد ٢٥–٣٠ دقيقة (°م)
الكوسة	١٨
البطاطس	١٨
جذور الجزر	١٤
الفاصوليا الخضراء	١٢
القنبيط	١٠,٥
الكرنب	٧
الأسبرجس	٧
الكرفس	٧
الخرشوف	٦
البسلة	٦
البروكولى	٥,٥
كرنب بروكسل	٤,٥
الذرة السكرية	٤,٥
الخس	١
البصل الأخضر	١

سرعة التبريد الأوّلى

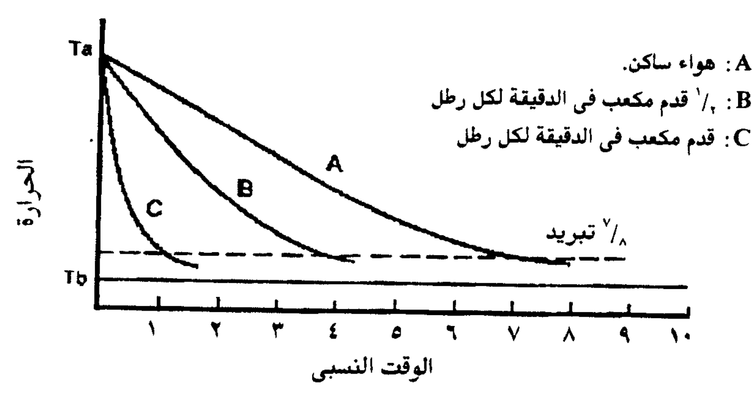
إن سرعة التبريد ترتبط بالفرق الحرارى بين حرارة الوسط وحرارة المنتج. وفى البداية عندما يكون المنتج دافئًا فإن الحرارة تنخفض بسرعة، ولكن تنخفض سرعة التبريد بعد ذلك مع انخفاض حرارة المنتج. وتتبع حرارة المنتج أثناء تبريده المنحنى المبين فى شكل (٨-٥).

يعتبر المنتَج نصف مبرد عندما تنخفض حرارته بمقدار نصف الفرق بين حرارته الابتدائية وحرارة وسط التبريد. وبعد مرور فترة نصف تبريد أخرى يعتبر المنتَج مبردًا بمقدار ثلاثة أرباع المستهدف ويكون تبريد المنتَج مستكملاً – عادة – بعد تبريده بمقدار سبعة أثمان أو ١٥/١٦ من المستهدف (عن Thompson ٢٠٠٤).



شكل (٨-٥): منحنى الانخفاض الحرارى للمنتج مع الوقت أثناء التبريد الأوَّلى. تمثل الكسور الاعتيادية المبينة على المنحنى الجزء من اكتمال التبريد المتحصل عليه، والذى يحسب بقسمة الفرق بين حرارة المنتج الفعلية وحرارة الهواء فى المبرد على الفرق بين حرارة المنتج الابتدائية وحرارة الهواء (عن **Brecht ٢٠٠٣**).

تزداد كثيرًا الفترة التى تلزم لتبريد المنتج إذا ما ترك ساكنًا فى الحجرات المبردة عما فى حالة الدفع الجبرى للهواء البارد. كما تقصر الفترة اللازمة لاكتمال التبريد بزيادة معدل الدفع الجبرى للهواء (شكل ٨-٦).



شكل (٨–٦): فترة التبريد الأوّلى التى تلزم عند اختلاف معدل سريان الهواء.

إن معدل التبريد – الذى يعبر عنه انحدار المنحنى – يقل كلما اقتربت حرارة المنتج من حرارة هواء الغرفة.

وتقارن سرعة التبريد لعدد من طرق التبريد الأوّلى بمقارنة الوقت الذى يلزم لخفض حرارة اللب الداخلى للمنتج إلى ⅞ الفرق بين الحرارة الابتدائية للمنتج (Ta) وحرارة هواء غرفة التبريد (Tb). وباتباع هذه الطريقة كأساس للمقارنة .. نجد فى شكل (٨–٦) أن هذا الوقت يزيد فى حالة التبريد فى الغرف بأكثر من ٧ مرات الوقت الذى يلزم بطريقة الدفع الجبرى للهواء بمعدل قدم مكعب واحد فى الدقيقة لطل رطل من المنتج (Boyette وآخرون ١٩٨٩).

مقارنة بين طرق التبريد الأوّلى

يعطى جدول (٨–٢) مقارنة بين طرق التبريد الأوّلى (عن Thompson ٢٠٠٤).

جدول (٨–٢): مقارنة بين طرق التبريد الأوّلى.

المنتج	الدفع الجبرى للهواء	المائى	التبريد بالتفريغ	الرش بالماء	بالثلج	تبريد الغرفة
الوقت اللازم للتبريد (ساعة)	١–١٠	٠,١–١,٠	٠,٣–٢,٠	٠,٣–٢,٠	٠,٠١–٠,٣	٢٠–١٠٠
الفقد الرطوبى من المنتج (٪)	٠,١–٢,٠	صفر–٠,٥	٢,٠–٤,٠	غير معلوم	غير معلوم	٠,١–٢,٠

تابع جدول (٨-٢).

المنتج	الدفع الجبرى للهواء	المائى	التبريد بالتفريغ	الرش بالماء	بالثلج	تبريد الغرفة
ملامسة الماء للمنتج	لا	نعم	لا	نعم	نعم ما لم يكن مكيسًا	لا
احتمالات التلوث الميكروبى	منخفضة	عالية	معدومة	عالية	منخفضة	منخفضة
التكلفة الإنشائية	منخفضة	منخفضة	متوسطة	متوسطة	عالية	منخفضة
كفاءة استخدام الطاقة	منخفضة	عالية	عالية	متوسطة	منخفضة	منخفضة
الحاجة إلى عبوات مقاومة للماء	لا	نعم	لا	نعم	نعم	لا
القابلية للنقل من مكان لآخر	أحيانًا	نادرة الحدوث	شائعة	شائعة	شائعة	لا
إمكانية التبريد فى خط التعبئة والتداول	نادرة	نعم	لا	لا	نادرة الحدوث	لا

تقسيم الخضروات حسب طرق التبريد الأوَّلى التى تناسبها

تُقسم الخضروات — حسب طرق التبريد الأوَّلى المناسبة لها — كما يلى:

أولا: الخضر الورقية والساقية الغضة والزهرية

تضم هذه المجموعة ما يلى:

١- الخضر الورقية: الخس، والكرنب، والكرنب الصينى، وكرنب بروكسل، والكرفس، والروبارب، والسبانخ، والسلق، والكيل، والهندباء، والبقدونس، والبصل الأخضر.

٢- الخضر الساقية الغضية: الأسبرجس، وكرنب أبو ركبة، والفينوكيا.

٣- الخضر الزهرية: الخرشوف، والبروكولى، والقنبيط.

وتتبع مع هذه الخضروات طرق التبريد الأوَّلى التالية:

١- التبريد بالتفريغ: يناسب خس الرؤوس ذا الأوراق الغضة السهلة التقصف

Crisphead، والخس الورقى، والسبانخ، والقنبيط، والكرنب الصينى، والكرنب وغيرها من الخضر الورقية.

٢– التبريد بالتفريغ مع البل بالماء: يناسب الكرفس وغيره من الخضر الورقية.

٣– التبريد المائى: يناسب الخس الورقى، والكرفس، والسبانخ، والبقدونس، والبصل الأخضر وكرنب بروكسل.

٤– التبريد بالثلج داخل العبوات: يناسب البروكولى، والسبانخ، والبقدونس، والبصل الأخضر وكرنب بروكسل.

٥– التبريد فى غرف التبريد: يناسب الخرشوف والكرنب.

٦– التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء: يناسب القنبيط بصفة أساسية، كما يستعمل إلى درجة محدودة، مع الخضر الساقية وبعض الخضر الورقية.

ثانياً: الخضر الدرنية والبصلية

تضم هذه المجموعة ما يلى:

١– الخضر الجذرية: البنجر، والجزر، والفجل، وفجل الحصان، والجزر الأبيض، واللفت، والبطاطا، والكاسافا.

٢– الدرنات: البطاطس، والطرطوفة، واليام.

٣– الكورمات: القلقاس.

٤– الأبصال: البصل والثوم.

وتتبع هذه الخضروات طرق التبريد الأوّلى التالية

١– التبريد المائى: يناسب البنجر، والجزر، والفجل، وفجل الحصان، والجزر الأبيض، واللفت، ويستعمل — كذلك — مع البطاطس فى الجو الشديد الحرارة.

٢– التبريد فى غرف التبريد: يناسب لابطاطس، والبصل، والثوم، والبطاطا، والكاسافا، والطرطوفة، واليام، والقلقاس.

٣– التبريد فى عربات الشحن المبردة: يناسب البطاطس التى تشحن فى الجو الحار.

٤- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء: يناسب البطاطس والبصل.

ثالثاً: الخضر الثمرية

تضم هذه المجموعة ما يلى:

١- الخضر ذات الثمار غير المكتملة التكوين: البقوليات (فاصوليا الليما، والفاصوليا العادية الخضراء، والبسلة الخضراء، واللوبيا الخضراء)، والخيار، والكوسة، والباذنجان، والفلفل، والبامية، والذرة السكرية.

٢- الخضر ذات الثمار المكتملة التكوين: القاوون، والبطيخ، والقرع العسلى، وقرع الشتاء، والطماطم، والفراولة.

وتتبع مع هذه الخضروات طرق التبريد الأولى التالية:

١- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء: يناسب القاوون، والبسلة، والفلفل، والكوسة، والطماطم.

٢- التبريد بطريقة السريان الجبرى للهواء مع بل المُنتَج Forced-air Evaporative Cooling: يستعمل بدرجة محدودة مع الكوسة، والفلفل، والباذنجان، والطماطم الكريزية.

٣- التبريد المائى:

يستعمل قبل التدريج والتعبئة فى تبريد القاوون، والذرة السكرية. ويجرى الفرز قبل فترة التبريد الأولى وبعدها، والتى نادرًا ما تكفى لتبريد المنتج إلى درجة الحرارة المطلوبة.

٤- التبريد بالثلج: يستعمل بدرجة محدودة مع القاوون، كتبريد إضافى للذرة السكرية المعبأة (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

وهذا .. ويبين جدول (٨-٣) طرق التبريد الأولى المناسبة لمختلف محاصيل الخضر والفاكهة مع بيان لظروف التخزين المناسبة لكل منها من حيث درجة الحرارة والرطوبة النسبية (عن Rennie وآخرين ٢٠٠٣).

جدول (٨-٣): طرق التبريد الأولي المناسبة لعدد من محاصيل الخضر والفاكهة، وظروف التخزين المناسبة لكل منها.

المحصول	طريقة التبريد الأولي [أ]	ظروف التخزين المناسبة
التفاح	RC, FA, HC	0°C to 5°C, 1%-3% O_2, 1%-5% CO_2
الأسبرجس	HC, PI	0°C to 2°C, 95% to 100% RH
المشمش	RC, FA	0°C to 5°C, 95% RH, 2% to 3% O_2, 2% to 3% CO_2
الخرشوف	HC, FA, PI	0°C to 5°C, 90% to 95% RH, 2% to 3% O_2, 2% to 3% CO_2
الفاصوليا الخضراء	RC, FA, HC	8°C, 2% to 3% O_2, 4% to 7% CO_2
البنجر	RC	0°C to 4°C, 95% RH
البلاكبرى	FA, RC	-0.5°C to 0°C, 90%-95% RH
البلوبرى	FA	Optimal at 1°C (3°C-4°C), 90% RH
البروكولى	FA, HC, PI, LI	Optimal at 0°C (0°C-5°C), 90%-95% RH, 1%-3% O_2, 5%-10% CO_2
كرنب بروكسل	FA, HC, PI	0°C, 95%-100% RH
الكرنب	RC, FA	0°C, 92% RH
الكنتالوب (نصف انفصال)	HC, FA, PI	2°C-5°C, 95% RH
الكنتالوب (انفصال كامل)	HC, FA, PI	0°C-2°C, 95%-98% RH
القنبيط	HC, VC	0°C, 95%-98% RH
الجزر	RC, PI	0°C to 2°C, 95% RH
الكرنب الصينى	RC, FA, HC	0°C, 95%-100% RH
الكرفس	FA, HC, VC, WV	0°C-5°C, 90%-95% RH, 2%-4% O_2, 3%-5% CO_2
الخيار	RC, FA	10°C-13°C, 50%-55% RH
الباذنجان	RC, FA	8°C-12°C, 90%-95% RH
التين	RC, FA, HC	0°C-5°C, 5%-10% O_2, 15%-20% CO_2
الثوم	RC	0°C
العنب	FA	-1°C to 0°C, 85% RH
الكيوى	FA, RC, HC	-0.5°C to 0°C, 90%-95% RH, 1%-2% O_2, 3%-5%, CO_2, C_2H_4 must be below 20 ppb
الكرات	HC, PI	0°C, 95%-100% RH
الخس	HC, PI, VC	0°C, 95% RH
عيش الغراب	FA, VC	Optimal at 0°C (0°C-5°C0), normal O_2, 10%-25% CO_2

تابع جدول (٨-٣):

المحصول	طريقة التبريد الأولى [أ]	ظروف التخزين المناسبة
النكتارين	FA, HC	-0.5°C-0°C, 90%-95% RH
البامية	RC, FA	7°C-12°C, 90%-95% RH, normal O_2, 4%-10% CO_2
البصل	لا يوجد تبريد أولى	0°C, 75% RH
الخوخ	FA, HC	-1°C to 0°C, 85% RH
الكمثرى	FA, RC, HC	-1.5°C to -0.5°C, 90%-95% RH
البسلة الخضراء	FA, HC	0°C, 95%-98% RH
اللوبيا	FA, HC	4°C-5°C, 95% RH
الفلفل الحار	RC, FA, VC	0°C-10°C, 32%-50% RH
الفلفل الحلو	RC, FA, VC	7°C-13°C, 45%-55% RH
البرقوق	FA, HC	-0.5°C-0°C, 90%-95% RH
البطاطس	RC, FA	3°C-10°C, 90% RH
القرع العسلى	لا يوجد تبريد أولى	10°C-13°C, 70% RH
الفجل	PI	0°C, 90%-95% RH, 1%-2% O_2, 2%-3% CO_2
الراسبرى	FA	0°C to 0.5°C, 90% to 95% RH
الروتاباجا	RC	0°C, 98%-100% RH
السبانخ	HC, VC, PI	0°C, 95%-100% RH
الكوسة	RC, FA	5°C-10°C, 95% RH
قرع الشتاء	لا يوجد تبريد أولى	10°C, 50%-70% RH
الفراولة	RC, FA	0°C, 95% RH, 5% to 10% O_2, 15% to 20% CO_2
الكريز	RC, FA, HC	0°C-5°C, 3%-10% O_2, 10%-15% CO_2
الذرة السكرية	HC, VC, LI	0°C, 95% RH
البطاطا	لا يوجد تبريد أولى	10°C-15°C, 85% RH
الطماطم	RC, FA	Optimal at 12°C (12°C-20°C), 3%-5% O_2, 0%-3% CO_2
اللفت	RC, HC, VC, PI	0°C, 95% RH
البطيخ	لا يوجد تبريد أولى	4°C-10°C, 80%-85% RH

(أ) معانى الاختصارات:

RC, room cooling تبريد الغرفة; FA, forced-air cooling الدفع الجبرى للهواء; HC, hydrocooling التبريد المائى; VC, vacuum cooling التبريد بالتفريغ; PI, package icing إضافة الثلج للعبوات; LI, liquid icing إضافة ملاط الثلج مع الماء; RH, relative humidity الرطوبة النسبية.

الفصل التاسع

معاملات المحافظة على الجودة والحد من الإصابات المرضية والحشرية

مقدمة

نتناول بالشرح فى هذا الفصل كافة العوامل التى يجب أخذها فى الحسبان، والوسائل التى يمكن اتباعها بغرض إطالة فترة احتفاظ المنتجات البستانية بجودتها أثناء التخزين.

وبداية .. تجب مراعاة ما يلى:

١– قَصرْ التخزين على المنتجات البستانية التى تكون قد وصلت إلى طور النضج المناسب:

يجب أن تكون المنتجات المخزنة فى طور النضج المناسب لعملية التخزين؛ فتكون قد وصلت إلى مرحلة النضج البستانى، ولم تصبح زائدة النضج بعد.

٢– عدم تخزين المنتجات المخدوشة والمصابة بالآفات:

يصاحب التخزين دائمًا نقص مستمر فى نوعية المنتجات، بالرغم من توفير أفضل الظروف للتخزين؛ وعليه .. فلا يجب أن تخزن إلا أفضل المنتجات؛ حتى لا يصبح هذا النقص فى النوعية شديدًا بعد فترة قصيرة من التخزين؛ ولذا:

أ– تلزم معاملة المنتجات برفق؛ لتجنب إحداث أية خدوش أو أضرار ميكانيكية بها، أو تقليل ذلك إلى أدنى حدٍ ممكن.

ب– تستبعد كل الثمار والنباتات المصابة بالعفن؛ لأنها غالبًا ما تضر غيرها من الثمار أو النباتات السليمة.

جـ– يلزم إجراء عملية العلاج لدرنات البطاطس، وجذور البطاطا، وأبصال البصل والثوم.

د- لا تجب محاولة تخزين درنات البطاطا التى حدثت بها أضرار من جراء تعرضها لأشعة الشمس القوية المباشرة عند الحصاد.

٣- العناية بنظافة المخازن والحماية من القوارض:

أ- ليس من الحكمة تخزين منتجات عالية الجودة فى أماكن غير نظيفة. فيجب إبقاء المكان نظيفاً قدر المستطاع، مع تعقيمه من آن لآخر كلما أفرغ المخزن من محتوياته. وبرغم أن تنظيف المكان وتعقيمه لا يمنع حدوث العفن كلية، إلا أنه يقلله إلى أدنى مستوى ممكن.

ب- تجب تنقية الهواء من الغازات التى قد تكسب الحاصلات الطازجة مذاقاً غير مرغوب فيه، ويستخدم لذلك نوع خاص من الفحم (6-14 mesh activated coconut shell carbon).

جـ- يجب أن تكون المخازن محكمة الغلق تماماً ضد القوارض؛ مثل الفئران وغيرها. فهذه الحيوانات تزيد من الفاقد فى المحصول بطريقة مباشرة، وبطريقة غير مباشرة من خلال زيادة العفن بسبب مهاجمة الكائنات المسببة للعفن للأجزاء المقروضة (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

٤- الاهتمام بإجراء عمليات التداول — التى أسلفنا بيانها — بأفضل صورة ممكنة.

وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه .. فإنه تجرى للحاصلات البستانية عديد من المعاملات الأخرى التى تعمل على إطالة فترة احتفاظها بجودتها أثناء التخزين. والتى نناقشها — فيما يلى — بشئ من التفصيل.

المعاملات الحرارية السابقة للتخزين

تعرف المعاملة الحرارية للثمار والحاصلات البستانية الأخرى بعد الحصاد باسم معالجة curing لأنها تعمل على علاج الجروح والأضرار التى تحدث بالثمار أثناء التداول. كما تُعرف — كذلك — باسم "تهيئة" conditioning لأنها تمكن المنتج من تحمل الظروف القاسية مثل الحرارة الأقل من الحرارة المثلى أثناء النقل والتخزين.

إن للحرارة تأثيرات قاتلة على كل من الفطريات والحشرات، ولكن المدى الحرارى المثالى لمكافحة الحشرات قد لا يكون مثاليًا لمكافحة الأمراض. ويجب ألا تؤدى أى معاملة حرارية لمكافحة الأمراض أو الحشرات إلى إحداث أى أضرار بالمنتج.

وفى واقع الأمر .. نجد فى بعض الأحيان أن الحرارة العالية التى قد تعرض لها المنتجات الطازجة قبل التخزين قد يكون لها تأثيرات مفيدة على تلك المنتجات، ومن بين تلك الفوائد ما يلى:

١– إبطاء نضج الثمار والخضر الكلايمكتيرية.

٢– زيادة حلاوة المنتج بزيادة كمية السكر أو خفض الحموضة.

٣– منع أضرار التخزين الفسيولوجية، مثل الانسفاغ scald السطحى فى التفاح وأضرار البرودة فى الخضر والفاكهة تحت الاستوائية.

إن سبق التهيئة الحرارية قد يعنى – كذلك – فترة يترك فيها المنتج فى حرارة الجو العادى (١٦–٢٥°م)، أو حرارة أقل من حرارة الجو العادى ولكنها أعلى من تلك التى قد يتعرض معها للإصابة بأضرار البرودة (٥–١٢°م)، حسب المحصول. وتعرف تلك المعاملة – عادة – باسم معالجة curing، وهى تجرى على منتجات مثل البطاطس والبصل والجزر. ويكون الهدف منها زيادة مقاومة تلك المنتجات للإصابات المرضية، كما أنها تزيد مقاومة ثمار الموالح لأضرار الحرارة المنخفضة (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

تعد المعالجة هى الهدف من معظم المعاملات الحرارية. فهى تعالج الجروح والأضرار التى تحدث أثناء الحصاد وعمليات التداول التالية له. أما التهيئة فإنها معاملة حرارية خاصة تمكن المنتج من تحمل عوامل الشدّ الكبيرة، مثل التعرض لحرارة منخفضة بدرجة غير مناسبة. وقد قسمت تلك المعاملات إلى قصيرة المدة (من عدة ثوانٍ حتى ٦٠ دقيقة فى الماء على حرارة ٤٥–٦٠°م)، أو طويلة المدة (١٢ ساعة إلى ٤ أيام فى الهواء على حرارة ٣٨–٤٦°م). والمعاملة الطويلة المدة هى التى تعرف أحيانًا باسم المعالجة curing،

وهى الأسرع والأقل تكلفة، كما استخدمت معها معاملة التفريش brushing من الأتربة اللاصقة والمتبقيات العالقة سطحيًا. كذلك وجد أن تلك المعاملة تزيد كثيرًا من فاعلية المبيدات الفطرية (مثل imazalil، والـ thiabendazole) التى يمكن استخدامها — حينئذ — بتركيزات أقل جوهريًّا مما يلزم عادة (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

ومن أمثلة حالات المعالجة، ما يلى:

١- تعالج البطاطس بتعريضها لحرارة ١٢°م لمدة ١٠-١٢ يومًا قبل تخزينها على ٤-٩°م حسب الصنف، وما إذا كانت الدرنات مخصصة للتصنيع أم للاستهلاك الطازج.

٢- تعالج البطاطا بتعريضها لحرارة ٣٠°م لمدة خمسة أيام قبل تخزينها على ١٢°م.

وفى كل من البطاطس والبطاطا تسمح عملية المعالجة بالتئام الجروح وترسيب مواد على الجدر الخلوية تعمل كحاجز ضد المسببات المرضية.

٣- تعالج ثمار الكيوى على حرارة ١٠°م قبل تخزينها فى الحرارة المنخفضة.

٤- يؤدى تعريض أبصال البصل لحرارة ٢٨°م لمدة ثلاثة أيام إلى زيادة فترة تحملها للتخزين.

ومن أكثر المعاملات الحرارية التجارية استخدامًا للتخلص من الفطريات، ما يلى:

١- معالجة البابابظ بالماء الساخن .. وهى التى تجرى منذ منتصف القرن العشرين.

٢- معاملة تفريش بالماء الساخن فى خطوط التعبئة وهى التى تعد حديثة نسبيًا وتجرى مع الذرة السكرية، والمانجو، والفلفل. يتم رش الماء وهو على حرارة ٥٠ إلى ٦٥°م على المنتج أثناء مروره على مدحرجات أسطوانية rollers. تؤدى هذه المعاملة إلى التخلص من الأتربة والجراثيم. كما تؤدى معاملة التفريش فى وجود الماء الساخن إلى ملئ الشقوق السطحية بالشمع الطبيعى للمنتج المعامل (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

إن الاستجابة للصدمة الحرارية تظهر فى معظم الكائنات الحية على صورة حث أو

زيادة تمثيل بروتينات خاصة تعرف باسم بروتينات الصدمة الحرارية heat shock proteins (اختصارًا: HSPs). ويعتقد بأن هذه البروتينات هي التي توفر القدرة على تحمل الحرارة العالية بحمايتها للبروتينات من الدنترة – التي لا عودة فيها – والتحلل. ولقد تأكد ذلك في عديد من الأعضاء النباتية بما في ذلك الثمار. كما وجد أن تعرض النباتات ذاتها لتلك الصدمة الحرارية يؤدى إلى زيادة تمثيل هذه البروتينات في الثمار، فضلاً عن زيادتها في الثمار التي تتعرض للصدمة الحرارية بعد الحصاد (Ferguson وآخرون ٢٠٠٠).

ومن المعروف أن المعاملة الحرارية تثبط النضج في الثمار الكلايمكتيرية مثل الطماطم، على الرغم من أنها تسرع النضج في المانجو (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

تؤدى المعاملة الحرارية بعد الحصاد إلى تحوير في التعبير الجيني، كما قد يتأخر – أحيانًا – نضج الثمار أو يصبح أكثر تبكيرًا. ويتوقف مدى التحور في سرعة نضج الثمار على كل من حرارة التعرض ومدتها، ومدى سرعة تبريد المنتج بعد التعرض للحرارة العالية. ومن بين أكثر مكونات التغيرات المصاحبة للنضج التي يتم قياسها طراوة الثمار، والتغيرات في الأغشية الخلوية وفي المذاق، ومعدل التنفس، وإنتاج الإثيلين، وإنتاج المركبات المتطايرة. وأكثر ما يتعطل أو حتى يتوقف إنتاجه جراء المعاملة الحرارية أو يتعطل ظهورها إنزيمات تحليل الجدر الخلوية وإنتاج الإثيلين. أما العمليات الأخرى المرتبطة بالنضج فإنها لا تتأثر كثيرًا بالمعاملة الحرارية، أو أنها سريعًا ما تعود إلى حالتها الطبيعية بعد المعاملة.

وتتأثر حساسية الثمار لمعاملة الصدمة الحرارية بكل من الظروف البيئية التي كانت سائدة قبل الحصاد، والصنف، ومعدل الارتفاع في درجة الحرارة، وظروف التخزين التالية. ويتوقف مدى الحساسية أو التحمل للشدِّ الحراري على مستوى تواجد البروتينات الحامية من الحرارة عند الحصاد، وعلى إنتاج تلك البروتينات بالمعاملة الحرارية بعد الحصاد.

ويعرف نوعان من الاستجابة للصدمات الحرارية، هما:

١- استجابة خلوية طبيعية للحرارة الأقل من ٤٢°م تقود إلى تقليل الحساسية للبرودة، وتأخير النضج أو إبطاءه وإحداث تغيرات في الجودة.

٢- تحدث الاستجابة الثانية قريبًا من الدرجة التي يحدث عندها الضرر – وهي التي تزيد عن ٤٥°م – وتتحور بالظروف البيئية السابقة للتعرض لحالة الشدّ. وتتمثل في فقد الأغشية الخلوية لخصائصها (Paull & Chen ٢٠٠٠).

المعاملات الحرارية التجارية لأجل التخلص من الحشرات الحية

تجرى أكثر المعاملات الحرارية التجارية باستعمال البخار الساخن أو الدفع الجبري للهواء الساخن بغرض التخلص من التواجد الحشري بالمنتج insect disinfestation. وتتوفر معاملات خاصة لكل منتج ولكل حشرة (جدول ٩-١).

ومن الأمثلة على ذلك معاملات ثمار المانجو المكسيكية التي قد تكون مصابة بذباب الفاكهة ويتواجد بها يرقات الذباب وبيضه. وتجرى المعاملة الحرارية إما بطريقة الدفع الجبري للهواء الساخن، وإما بالغمر في الماء الساخن قبل التخزين والشحن. يستمر تعريض الثمار للهواء الساخن حتى يصل مركزها إلى حرارة ٤٨°م. أما معاملة الغمر في الماء الساخن فتتوقف مدتها على حجم الثمار وتتراوح بين ٤٥، و ٩٠ دقيقة، حيث تصل حرارة مركز الثمرة إلى ٤٦.١°م.

وتختلف معاملة التعريض للبخار الساخن عن التعريض للهواء الساخن المدفوع جبريًا في أن الرطوبة تتجمع على سطح الثمرة عند اتباع الطريقة الأولى، مع نقل قطرات الماء للحرارة بكفاءة أعلى عما ينقلها الهواء، بما يسمح بتسخين الثمار بسرعة أكبر. ولكن تلك المعاملة قد تحدث أضرارًا فيزيائية بالثمار. وفي هاواي تعامل ثمار الباباظ بالبخار الساخن قبل تصديرها إلى اليابان.

ويمكن تطهير ثمار الموالح بالغمر في الماء الساخن على ٤٤°م لمدة ١٠٠ دقيقة يسبقها نحو ٩٠ دقيقة أخرى لكي ترتفع حرارة الماء إلى ٤٤°م. هذا .. إلاّ أن تطهير ثمار الموالح

يتم عادة بتعريضها لحرارة صفر إلى ٢.٢ْم لمدة ١٠–١٦ يومًا قبل رفع الحرارة إلى حرارة التخزين العادية التى تتراوح بين ٦. و ١١ْم حسب الصنف. ونظرًا لحساسية الموالح لأضرار البرودة، فإن الثمار تحفظ – عادة – على حرارة ٢٠ْم أو ١٦ْم لمدة ٣ إلى ٥ أيام قبل تعريضها للحرارة المنخفضة. تؤدى المعاملة الأخيرة إلى تقليل قابلية الثمار للإصابة بأضرار البرودة لدى تعريضها بعد ذلك لمعاملة التطهير بالحرارة المنخفضة.

هذا .. وتوجه أكثر من ٥٠٪ من معاملات التطهير من الإصابات الحشرية نحو تخليصها من بيض ويرقات ذبابة الفاكهة (Lurie & Klein ٢٠٠٤).

جدول (٩–١): المعاملات الحرارية للتخلص من الحشرات فى ثمار الخضر والفاكهة.

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (ْم)/الوقت
ذباب الفاكهة				
Caribbean fruit fly	*Anastrepha suspense*	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
		المانجو	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
		برتقال	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
Mediterranean fruit fly	*Ceratitis capitata*	زبدية	المعاملة بالهواء الساخن	40°/24 h
		مانجو	حرارة عالية جدًا	47°/15 min
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
Melon fruit fly	*Dacus cucurbitae*	زبدية	المعاملة بالهواء الساخن	40°/ 24 h
	Bactrocera cucurbitae		المعاملة بالهواء الساخن	
		خيار	المعاملة بالهواء الساخن ثم بالماء الساخن	32.5°/24 h then 45-46°/50-60 min
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
		كوسة	حرارة عالية جدًا	

تابع جدول (٩–١).

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
Mexican fruit fly	*Anastrepha ludens*	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	44°/2 h in 1% O_2
	Bactrocera cucumis	كوسة	حرارة عالية جدًا	45°/ 30 min
Oriental fruit fly	*Dacus dorsalis*	خيار	المعاملة بالهواء الساخن	32.5°/24 h then 45-46°/ 50-60 min
	Bactrocera dorsalis		المعاملة بالماء الساخن	
		باباظ	المعاملة بالهواء الساخن	47.2° at pulp for 3.5 h
Papaya fruit fly	*Bactrocera payapae*	مانجو	حرارة عالية جدًا	47°/ 15 min
Queensland fruit fly	*Bactrocera tyroni*	زبدية	المعاملة بالماء الساخن مع البينوميل	46°C/3 min then 1°/7 days
		مانجو	حرارة عالية جدًا	46.5°/ 10 min
			المعاملة بالماء الساخن ثم	53°C/ 15 min then
			ثم حرارة عالية جدًا	47°C/ 15 min
حشرات أخرى				
Coddling moth	*Cydia pomonella*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن أو حرارة عالية جدًا	44°/120 min then 0°/4 weeks
		كريز	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	47°/44 min in 1% O_2; 15% CO_2
		كمثرى	المعاملة بالهواء الساخن أو حرارة عالية جدًا	44°/120 min then 0°/4 weeks
			المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/ 30 h in 0.3% O_2
Fuller's rose beetle	*Asynonychus godmani*	ليمون أضاليا	المعاملة بالماء الساخن	52°/8 min
Leafroller	*Cnephasia jactatana*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	40°/10 h in 0.4% O_2 45°/5 h in 0.4% O_2

تابع جدول (٩-١).

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (ºم)/الوقت
	Ctenopseustis obliquana	الكيوى	المعاملة بالهواء الساخن	40°/5-7 h in 0.4% O_2
			جو متحكم فيه	40°/6 h in 2% O_2; 5% CO_2
Light brown apple moth	*Epiphyas postvittana*	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن جو متحكم فيه	40°//17-20 h in 1.2% O_2; 1% CO_2
		كيوى	المعاملة بالماء الساخن وإيثانول	45°/13 min in 50% ethanol
			المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	
		كمثرى	المعاملة بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/30 h in 0.3% O_2
Longtailed mealybug	*Pseudococcus longispinus*	كاكى	المعاملة بالماء الساخن أو المعاملة بالهواء الساخن	48°/26 min or 50°/22 min
New Zealand flower thrips	*Thrips obscuratus*	مشمش	المعاملة بالماء الساخن	48°/3 min then 50°/2 min
		نكتارين		
		خوخ		
Obscure mealybug	*Pseudococcus affinis*	تفاح	العامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	40°/10 h in 0.4% O_2
				45°/5 h in 0.4% O_2
Oriental fruit moth	*Grapholita molesta*	كمثرى	العامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	30°/30 h in 0.3% O_2
Two spotted spider mite	*Tetranychus urticae*	تفاح	المعاملة بالماء الساخن وإيثانول	45°/13 min in 50% ethanol

تابع جدول (٩-١).

الحشرات	الاسم العلمى	المحصول	المعاملة	الحرارة (ْم)/الوقت
		كيوى	المعامل بالهواء الساخن وجو متحكم فيه	44°/211 min
		كاكى	المعاملة بالماء الساخن	47°/67 min
White peach scale	*Pseudaulacaspis pentagona*	باباظ	حرارة عالية جدًا	47.2°/4 h

المعاملات الحرارية التى تجرى بهدف مكافحة الإصابات المرضية

تعد المعاملة الحرارية لمنتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد وسيلة مناسبة لمكافحة الأعفان أثناء الشحن التخزين. ويمكن إجراء تلك المعاملة بالغمس فى الماء الحار، أو بالتعريض لحرارة البخار أو للهواء الساخن، أو للشطف بالماء الساخن مع التفريش brushing لفترة قصيرة.

جدول (٩-٢): المعاملات الحرارية للتخلص من الفطريات المرضة والحماية منها (عن Lurie & Klein ٢٠٠٤).

الفطر	المرض	المحصول	المعاملة	الحرارة (ْم)/الوقت
Alternaria alternata	البقعة السوداء	جزر	شطف وتفريش بالماء الساخن	100°/3 sec
		المانجو	شطف وتفريش بالماء الساخن	60-70°/15-20 sec
	العفن الأسود	فلفل	المعاملة بالماء الساخن	50°/3 min
Botrytis cinerea	العفن الرمادى	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن وكلوريد كالسيوم	38°/4 days and $CaCl_2$ dip
		فلفل	المعاملة بالماء الساخن	50°/3 min

تابع جدول (٩–٢).

الفطر	المرض	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
		فراولة	المعاملة بالماء الساخن	45°/15 min
		طماطم	المعاملة بالماء الساخن	50°/2 min
			المعاملة بالهواء الساخن	38°/2 days
Botryodiplodia theobromae	أعفان الساق وسطح باباظ الثمرة		المعاملة بالهواء الساخن	49°/20 min
				32°/30 min then 49°/20 min
Chalara paradoxa	عفن التاج	موز	المعاملة بالماء الساخن	45°/20 min or 50°/10 min
Colletotrichum gloeosporioides	الأنثراكنوز	مانجو	حرارة عالية جدًا	46-48°/24 sec – 8 min
			المعاملة بالماء الساخن	
			المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
Diplodia natalensis	عفن طرف العنق	مانجو	المعاملة بالهواء الساخن	51.5°/125 min
			المعاملة بالماء الساخن	
Mycospharella spp.	أعفان الساق وسطح باباظ الثمرة		المعاملة بالهواء الساخن	49°/20 min
				42°/30 min then 49°//20 min
Penicillium digitatum	العفن الأخضر	جريب فروت	المعاملة بالهواء الساخن	46°/6 h
			شطف وتفريش بالماء الساخن	59-62°/15 sec
		ليمون أضاليا	المعاملة بالهواء الساخن	36°/3 days

تابع جدول (٩-٢).

الفطر	المرض	المحصول	المعاملة	الحرارة (°م)/الوقت
			المعاملة بالماء الساخن + كربونات الصوديوم	45°/150 sec + 2% Na_2CO_3
		برتقال	المعاملة بالماء الساخن	53°/3 min
			المعاملة بالماء الساخن + كربونات الصوديوم	41-43°/1-2 min + 6% Na_2CO_2
Penicillium expansum	العفن الأزرق	تفاح	المعاملة بالهواء الساخن وكلوريد الكالسيوم	38°/4 days + 4% $CaCl_2$
			المعاملة بالهواء الساخن	38°/4 days
Penicillium spp.	العفن الأزرق	ليمون أضاليا	المعاملة بالماء الساخن + إيمازاليل	50°/3 min + imazalil
Rhizopus stolonifer		طماطم	المعاملة بالماء الساخن	50°/2 min

تؤثر المعاملة الحرارية بصورة مباشرة بإبطاء استطالة الأنابيب الجرثومية، أو بوقف نشاط الجراثيم النابتة أو قتلها، وبذا يقل الحمل الجرثومى وتقل الأعفان.

كذلك يمكن أن تؤثر المعاملة الحرارية على الأعفان بصورة غير مباشرة من خلال الاستجابات الفسيولوجية للأنسجة النباتية، تتضمن إنتاج مركبات مضادة للفطريات تثبط تطورها فى النسيج النباتى، أو إنتاج مركبات تسرع من التئام الجروح. ويمكن للمعاملة الحرارية حث إنتاج البروتينات ذات العلاقة بهذا الشأن، مثل الشيتينيز chitinase، و β-1,3 glucanase. كما يمكنها تثبيت وضع الأغشية الخلوية، أو منع تمثيل الإنزيمات المحللة للجدر الخلوية (إنزيمات البولى جالاكتيرونيز polygalacturonases)، وتأخير معدل تحلل المركبات المضادة للفطريات السابقة التكوين فى الأنسجة النباتية.

كذلك فإن المعالجة – كمعاملة حرارية – يمكن أن تؤدى إلى اختفاء الصفائح الشمعية التى تتواجد طبيعيًّا على سطح الثمار غير المعاملة؛ مما يجعل سطح الثمار أكثر تجانسًا؛ حيث تمتلئ جزئيًّا أو كليًّا التشققات الأديمية والجروح الدقيقة ومعظم الثغور بالشمع المنصهر، كذلك تُحاط الجراثيم فى المراحل المبكرة لإنباتها بذلك الشمع؛ مما يوقف نشاطها، وكل ذلك مما يعد عوامل إضافية تساعد فى حماية الثمار من الإصابة بالأعفان (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

وتقسم المعاملات الحرارية التى تجرى بهدف التخلص من الإصابات المرضية إلى فئتين:

١- المعاملة لفترة قصيرة لا تزيد عن الساعة – فى الماء – على حرارة ٤٥-٦٠°م.

٢- المعاملة لفترة طويلة تستمر من ١٢ ساعة إلى أربعة أيام فى الهواء على حرارة ٣٨-٤٦°م، وتلك هى التى يطلق عليها – غالبًا – اسم معاملة المعالجة.

ونظرًا للتكلفة العالية لمعاملة المعالجة – والتى تستلزم تعريض كل المنتج للحرارة العالية لمدة قد تصل إلى ثلاثة أيام – فإن المعاملة الأكثر شيوعًا هى الغمر فى الماء على حرارة ٥٠-٥٣°م لمدة ٢-٣ دقائق. ولقد أثبتت هذه المعاملة فاعليتها مع عديد من الثمار.

تفيد المعاملة بالماء الساخن قبل التخزين مع عديد من الخضر والفاكهة الاستوائية وتحت الاستوائية وكذلك خضر وفاكهة المناطق الباردة. ومن أبرز مميزات تلك المعاملة سهولة تطبيقها، وقِصَر فترة المعاملة، وإمكان مراقبة حرارة الماء والمنتج بدقة، وقتل الكائنات المسببة للأعفان التى تُحمل سطحيًّا. هذا بالإضافة إلى أن تكلفة إنشاء وحدة تجارية للمعاملة بهذه الطريقة تبلغ نحو ١٠٪ من تكلفة وحدة مماثلة للمعاملة بالبخار.

وتجرى المعاملة بالماء الساخن إما بطريقة الغمر، وإما بالشطف والتفريش. يجرى الغمر فى "تانكات" كبيرة تحتوى على ماء ساخن يتم التحكم فى حرارته بمنظم للحرارة، وتزود التانكات بنظام التحريك ودوران الماء لضمان تجانس درجة الحرارة. أما

طريقة الشطف والتفريش – وهى التى بدأ اتباعها تجاريًا فى عام ١٩٩٦ – ففيها يُشطف المنتج بماء ساخن دوّار (يُعاد دورانه) يدفع تحت ضغط من بشابير علوية، بينما يتدحرج المنتج على فرش متوسطة النعومة (شكل ٩-١).

تغسل الثمار أولاً بدش علوى من ماء الصنبور غير الساخن والذى لا يُعاد استخدامه، بينما يتم تفريشه فى الوقت ذاته لمدة حوالى ١٠ ثوان؛ بهدف التخلص من الأتربة والمبيدات والجراثيم الفطرية التى توجد على سطح المنتج. تستمر الثمار فى التدحرج فوق الفرش إلى أن تصل إلى الجزء الذى تغسل فيه بماء تحت ضغط يُعاد استخدامه يمكن أن تتراوح حرارته – حسب المحصول والصنف – بين ٤٨، و ٦٣°م لمدة ١٠-٢٠ ثانية.

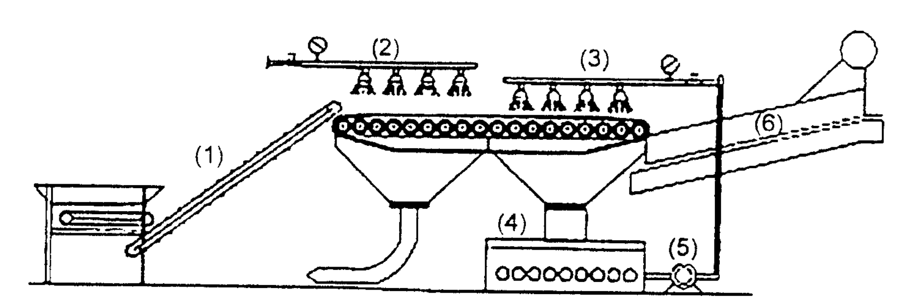
ويلى الغسيل بالماء الساخن تجفيف الثمار بالهواء المدفوع بواسطة مراوح لفترة تقل عن دقيقتين داخل أنفاق بطول ٣-٤ أمتار.

وعمومًا .. لوحظت أضرار الحرارة عندما كانت حرارة الماء المستخدم تزيد عن ٦٠°م. وحُصِلَ على أحسن النتائج عندما كانت فرش التنظيف تدور بمعدل ٦٠ دورة فى الدقيقة.

وتستخدم معاملة الغمر فى الماء الساخن لأغراض الحجر الزراعى باستعمال ماء تتراوح حرارته بين ٤٣، و ٤٩°م مع الغمر لمدة تتراوح بين عدة دقائق إلى ساعتين. وتتوقف الفترة على حجم الثمار، حيث تزداد المدة بزيادة حجم الثمرة. ولقد ساعدت هذه المعاملة فى التخلص من عدد من الآفات فى عدد من المحاصيل مثل الموالح، والباباظ، والكرامبولا والتفاح.

ولقد أدى غمر ثمار الفلفل الأخضر فى الماء الساخن على ٥٣°م لمدة ٤ دقائق قبل التخزين إلى الحد من الإصابة بالأعفان لمدة ٢٨ يومًا من التخزين على ٨°م. ويتطلب الأمر تعبئة الثمار فى الأغشية لمنع فقدها للرطوبة والمحافظة على جودتها. كذلك فإن غسيل الفلفل بالماء الساخن على ٥٥°م لمدة ١٢ ثانية – مع التفريش – بعد الحصاد

مباشرة خفَّض جوهريًّا من الإصابة بالأعفان مع المحافظة على الجودة مقارنة بما حدث فى الثمار التى لم تعامل (Fallik ٢٠٠٤).



شكل (٩-١): آلة شطف وتفريش الثمار بالماء الساخن: (١) سير متحرك، (٢) وحدة الشطف والتفريش بماء الصنبور، (٣) وحدة الشطف والتفريش بالماء الساخن الذى يُعاد استخدامه، (٤) خزان الماء الساخن، (٥) مضخة لضخ وإعادة استخدام الماء الساخن، (٦) مجفف بالدفع الجبرى للهواء (Fallik ٢٠٠٤).

كذلك وجد أن غمس ثمار الفلفل الحلو الحمراء المصابة طبيعيًّا بأى من الفطر *Botrytis cinerea* مسبب مرض العفن الرمادى، أو الفطر *Alternaria solani* مسبب مرض العفن الأسود، أو الثمار المحقونة (المعدية) بأى من الفطرين .. أدى غمسها فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة ثلاث دقائق إلى وقف نمو الفطر *B. cinerea* كلية، وإلى تقليل العفن الذى سببه الفطر *A. solani* جوهريًّا. هذا .. وقد لوحظت أضرار للحرارة العالية على الثمار عندما كان غمسها فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة خمس دقائق، أو على حرارة ٥٥°م لمدة دقيقة واحدة، أو لمدة تزيد عن ذلك، وكانت الأضرار على صورة تشققات ونقر ظهرت على سطح الثمرة (Fallik وآخرون ١٩٩٦).

وعمومًا .. فإن معاملة الغسيل بالماء الساخن مع التفريش تكون مُصاحَبة – غالبًا – بانخفاض قدره ٣-٤ لوغاريتم فى الحمل الميكروبى للخضر والفاكهة الطازجة.

ومن بين التأثيرات الأخرى التى لوحظت لمعاملة الماء الساخن مع التفريش تأخير نضج الثمار، وانخفاض معدل التنفس وإنتاج الإثيلين أثناء التخزين، وظهر التأخير فى

النضج على صورة تثبيط للتلوين فى الكنتالوب والطماطم. كذلك انخفض نشاط إنزيمات الـ polygalacturonase، والـ exo-cellulase، والـ endo-cellulase فى ثمار الفلفل التى عوملت بالماء الساخن مع التفريش، وذلك أثناء التخزين. هذا فى الوقت الذى أدت فيه معاملة ثمار الفلفل الأخضر على ٥٣°م لمدة ٤ دقائق إلى منع ظهور أضرار البرودة بعد ٤ أسابيع من التخزين على ٨°م (Fallik ٢٠٠٤).

وعند اقتران المعاملة الحرارية مع المبيدات — مثل الـ imazalil والـ thiabendazole — فإن ذلك يزيد من فاعلية المبيدات ويقلل من الجرعة التى تلزم استخدامها منها، بسبب زيادة المعاملة الحرارية لسرعة نفاذية المبيد من خلال أديم الثمار.

وفى ثمار الأفوكادو يتواجد المركب diene المضاد للفطريات فى الجدار الثمرى الخارجى .. هذا المركب ينخفض تركيزه إلى أن يختفى مع نضج الثمرة. وفى الوقت ذاته يمكن أن يتواجد بالثمار إصابات كامنة (غير نشطة) بالفطر *Colletotrichum gloeosporioides*. وتؤدى المعاملة الحرارية الجافة إلى تأخير نضج ثمار الأفوكادو، بينما يؤدى غمس الثمار فى حرارة ٥٥°م لمدة ١٠ دقائق إلى إسراع ظهور أعراض المرض وكذلك إسراع تحلل المركب diene.

وتجدر الإشارة إلى أن تأثير المعاملة الحرارية يكون بتثبيط نشاط الفطر (fungistatic effect) وليس بقتله (fungicidal effect) (Schirra وآخرون ٢٠٠٠).

المعاملات الحرارية التى تهدف إلى الحد من أضرار البرودة

يؤدى التعرض للبرودة فى المحاصيل الحساسة لها إلى حدوث تغير فى سرعة عديد من التفاعلات الأيضية، وفيما يترتب عليها من نواتج أيضية، وإلى حث تمثيل إنزيمات ومرافقات إنزيمية خاصة. ويبدو أن بعض المعاملات — مثل التدفئة المتقطعة intermittent warming — تُقلل من حدوث أضرار البرودة لأنها تغير من الاتجاه نحو تمثيل تلك المركبات السامة وتسمح بإصلاح المكونات الخلوية المضارة.

كذلك فإن التعرض لصدمة حرارية لفترة قصيرة أو للمعاملة الحرارية لفترة طويلة تُكسب عديد من الأنسجة النباتية قدرة على تحمل الحرارة المنخفضة. وقد يعود تأثير الحماية التى توفرها معاملة الحرارة العالية إلى منعها لإنتاج الإنزيمات التى تفضى إلى ظهور أعراض أضرار البرودة، وليس إلى إنتاج بروتينات خاصة بالصدمة الحرارية، وقد ترجع الحماية إلى العاملين معًا.

قد يعاب على معاملة الصدمة الحرارية أنها تؤدى إلى زيادة معدل التنفس؛ مما يقلل من فترة الصلاحية للتخزين. هذا إلا أن فترة المعاملة الحرارية تقل – عادة – عن دقيقتين، ويتبعها تبريد سريع يكون إلى الصفر المئوى فى حالة الخس. ولكن ذلك يختلف عما يكون عليه الحال عند حفظ الثمار الكاملة على ٣٨°م لمدة حوالى ثلاثة أيام لزيادة قدرتها على تحمل البرودة فيما بعد. ففى حالة كهذه تحدث زيادة فى معدل التنفس خلال تلك الفترة الطويلة. وعلى الرغم من ذلك فإن الانخفاض الشديد فى معدل التنفس الذى يحدث مع الخفض الكبير فى درجة الحرارة الذى يعقب المعاملة – والذى لا يكون ممكنًا بغير المعاملة الحرارية – يؤدى إلى زيادة كبيرة فى فترة الصلاحية للتخزين (Saltveit ٢٠٠٠).

استعراض لمختلف المعاملات الحرارية بالماء الساخن

نقدم فى جدول (٩-٣) بيانًا بمختلف المعاملات الحرارية (التجارية والتجريبية) التى أجريت أو تجرى مع مختلف الخضر والفاكهة الطازجة، ودرجة الحرارة المثلى، والغرض من المعاملة (عن Fallik ٢٠٠٤).

هذا .. وتُجرى المعاملات بالهواء أو بالماء الساخن فى مختلف محاصيل الخضر والفاكهة للأغراض التالية (عن Lurie & Klein ٢٠٠٤).

المحصول	الهدف
أولاً: الحد من أضرار البرودة	
التفاح	الحد من الاسمرار السطحى (الانسفاع) scalding
الأفوكادو	الحد من التلون البنى للجلد والتلون البنى الداخلى والتنقير
الموالح	الحد من التنقير
المانجو	الحد من التنقير
الكاكى	الحد من تكوين الجل
الفلفل الأخضر	الحد من التنقير
الخيار	الحد من التنقير
الطماطم	الحد من التنقير
الكوسة	الحد من التنقير
ثانيًا: تحسين الجودة	
التفاح	زيادة الصلابة
الأسبرجس	تثبيط الانحناء
البروكولى	تقليل الاصفرار
الكولارد	تقليل الاصفرار
البصل الأخضر	تثبيط الاستطالة
الجوافة	تقليل فقد الصلابة والاصفرار
الكيل	تقليل الاصفرار
البطاطس	منع التزريع

جدول (٩–٣): معاملات الماء الساخن للمحاصيل البستانية، ودرجة الحـــرارة المثلـــى، والهدف من المعاملة.

المحصول	المعاملة	الحرارة المثلى (الوقت)	الهدف
تفاح رويال جالا	غمر أو غمس في الماء الساخن	44 (35 min)	حجر زراعي
تفاح جولدن ديلشص	شطف وتفريش بالماء الساخن	55 (15 s)	مكافحة الأعفان تثبيط النضج
أسبرجس	غمر أو غمس في الماء الساخن	47.5 (2-5 min)	تقليل الانتحاء الأرضي
زبدية	غمر أو غمس في الماء الساخن	40-42 (20-30 min)	مكافحة الأعفان المحافظة على الجودة
	غمر أو غمس في الماء الساخن	38 (60 min)	تقليل أضرار البرودة
كلمنتين	غمر أو غمس في الماء الساخن	45 (2.5 min)	مكافحة الأعفان
جريب فروت	شطف وتفريش بالماء الساخن	59-62 (20 s)	مكافحة الأعفان تقليل أضرار البرودة المحافظة على الجودة
بصل أخضر	غمر أو غمس في الماء الساخن	55 (2 min), 52.5 (4 min)	منع النمو
كمكوات*	شطف وتفريش بالماء الساخن	58 (20 s)	مكافحة الأعفان المحافظة على الجودة
ليون أضاليا	غمر أو غمس في الماء الساخن	52-53 (2 min)	مكافحة الأعفان
ليمون أضاليا	شطف وتفريش بالماء الساخن	62.8 (15 s)	مكافحة الأعفان المحافظة على الجودة
يوسفي	غمر أو غمس في الماء الساخن	50-54 (3 min)	مكافحة الأعفان
مانجو*	غمر أو غمس في الماء الساخن	43-49 (65-90 min)	حجر زراعي
مانجو*	غمر أو غمس في الماء الساخن	46.1 (110 min)	حجر زراعي
مانجو*	شطف وتفريش بالماء الساخن	48-65 (10-25 s)	مكافحة الأعفان
كنتالوب جاليا*	شطف وتفريش بالماء الساخن	59 (15 s)	مكافحة الأعفان تثبيط النضج المحافظة على الجودة

تابع جدول (٩–٣).

المحصول	المعاملة	الحرارة المثلى (الوقت)	الهدف
برتقال شموتى*	شطف وتفريش بالماء الساخن	56 (20 s)	مكافحة الأعفان المحافظة على الجودة
برتقال	شطف وتفريش بالماء الساخن	62.8 (15 s)	مكافحة الأعفان
	غمر أو غمس فى الماء الساخن	53 (3 min)	مكافحة الأعفان تقليل أضرار البرودة
برقوق	غمر أو غمس فى الماء الساخن	40-45 (35-30 min)	مكافحة الأعفان تقليل أضرار البرودة
بطاطس	غمر أو غمس فى الماء الساخن	57.5 (20-30 min)	منع التزريع المحافظة على الجودة
نبت فول الصويا	غمر أو غمس فى الماء الساخن	60 (30 min)	تثبيط التزريع
فلفل حلو*	شطف وتفريش بالماء الساخن	55 (15 s)	مكافحة الأعفان تثبيط النضج المحافظة على الجودة
فلفل حلو	غمر أو غمس فى الماء الساخن	45 (15 min), 53 (4 min)	تقليل أضرار البرودة مكافحة الأعفان تحفيز إنتاج البولى أمينات
طماطم	شطف وتفريش بالماء الساخن	52 (15 s)	مكافحة الأعفان – تثبيط النضج تقليل أضرار البرودة تحفيز إنتاج البولى أمينات
طماطم	غمر أو غمس فى الماء الساخن	39, 45 (60 min)	تقليل أضرار البرودة مكافحة الأعفان

* = معاملة تجارية.

المعاملة بمركبات حيوية للمحافظة على الجودة

الإيثانول والأسيتالدهيد

يتواجد كل من الإيثانول والأسيتالدهيد فى ثمار الطماطم بتركيزات متزايدة أثناء نضجها. ويمكن أن تؤدى المعاملة بالأسيتالدهيد إلى تحفيز النضج. وإذا ما حدثت زيادة فى التركيز الطبيعى لأى من المركبين فى الثمار بالمعاملة بهما فإن النضج قد يتوقف. ويبدو أن الأسيتالدهيد يثبط تكوين الإثيلين بمنع فعل الـ ACC synthase، و ACC oxidase. وقد تؤدى التركيزات المنخفضة من الإيثانول إلى منع حدوث التنفس الكلايمكتيرى الطبيعى. أما التركيزات المرتفعة من الإيثانول فإنها قد تؤدى إلى زيادة نفاذية الأغشية الخلوية بإضرار الإيثانول بطبقتى الليبيدات فى الأغشية، حيث يُعتقد بوجود مواقع فعل الإثيلين (Podd & Staden ١٩٩٨).

وأدى تعريض شرائح من ثمار طماطم خضراء مكتملة التكوين لأبخرة أى من الأسيتالدهيد بتركيز لا يزيد عن ٥٠٠ ميكروجرام/جرام وزن طازج، أو الكحول الإثيلى بتركيز لا يزيد عن ٣ مجم/جم وزن طازج إلى تحفيز النضج، بينما أدى تعريضها لتركيزات أعلى من ذلك إلى تثبيط النضج.

هذا علمًا بأن الكحول الإثيلى ينتج فى عديد من النباتات فى الظروف اللاهوائية وكذلك الهوائية. ويمكن عزله من كل مراحل التلوين فى ثمار الطماطم المكتملة التكوين. أما الأسيتالدهيد فهو مركب ذو علاقة بالنكهة فى معظم الأنسجة النباتية. ويزداد تركيزه فى الثمار الكلايمكتيرية عند نضجها. ويقوم الإنزيم alcohol dehydrogenase بالإسراع بتمثيل الكحول الإثيلى من الأسيتالدهيد فى النباتات (Beaulieu & Saltveit ١٩٩٧).

المثيل جاسمونيت

أدت معاملة ثمار الخوخ بالـ methyl jasmonate بتركيز ١٠ مللى مولار ست مرات إلى إسراع النضج وتحسين التلون باللون الأحمر (Janoudi & Flore ٢٠٠٣).

المعاملة بمركبات كيميائية للمحافظة على الجودة

مركبات تمنع التزريع فى المخازن

تفيد المعاملة ببعض المركبات الكيميائية فى منع تزريع الخضروات التى لا يمكن تخزينها فى درجات حرارة منخفضة، لعدم توفر المخازن المبردة، أو لأن الحرارة المنخفضة تحدث أضرارًا بالخضروات المخزنة. وقد تجرى هذه المعاملات قبل الحصاد أو بعده.

وجميع المعاملات السابقة للحصاد تكون برش النباتات بالماليك هيدرازيد. فترش نباتات البطاطس عندما يكون قطر الدرنات حوالى ٥ سم. ويجب أن تظل الأوراق خضراء لعدة أسابيع بعد المعاملة. وترش نباتات البصل عند ميل نحو ٥٠٪ من الأوراق لأسفل. ويجب أن تكون الأبصال ناضجة عند الرش وأعناقها طرية، مع وجود ٥–٧ أوراق خضراء على الأقل.

أما المعاملات التالية للحصاد، فتكون بمركبات كيميائية مختلفة. فدرنات البطاطس ترش أو تعفر بالـ methyl ester of naphthalene acetic acid أثناء وضعها فى المخازن، أو قد يمكن خلط الدرنات بورق مشبع بهذه المادة. وتؤدى المعاملة إلى بقاء الدرنات ساكنة لمدة ٤–٥ أشهر فى حرارة ١٠–١٣°م. كما يستخدم الـ nonanol alcohol تجاريًا بتبخيره بمعدل معين بأجهزة خاصة وإمراره فى جو المخزن من خلال أجهزة التهوية. تبدأ المعاملة عند بدء نمو البراعم، وتكرر عند الضرورة. وكذلك يستخدم chloro-IPC فى المخازن بعد الحصاد بنحو ٢–٣ أسابيع (Lorenz & Maynard ١٩٨٠).

مركبات الكالسيوم وكاتيونات أخرى

تعامل بعض المنتجات البستانية بالكالسيوم – بصورة مباشرة بعد الحصاد – لإبطاء التغيرات الحيوية المؤدية إلى اكتمال نضجها؛ وبذا .. تزداد فترة صلاحيتها للتخزين وتجرى المعاملة بغمس الثمار غير المكتملة النضج (مثل: الكمثرى، والزبدية، والمانجو، والطماطم) فى محلول كلوريد الكالسيوم تحت تفريغ جزئى (١٢٥–٣٧٥ مم زئبق). تؤدى هذه المعاملة إلى تأخير وصول الثمار إلى مرحلة اكتمال النضج دون التأثير على جودتها.

ويكون الكالسيوم فعّالاً في الطماطم عندما يزيد تركيزه على ٤٠ مجم/١٠٠ جم من الوزن الطازج، حيث يؤدى إلى إبطاء كل من عمليات: التلوين، وإنتاج الإثيلين، والتنفس. وكان تأثير المعاملة كبيرًا، حيث لم يظهر بالثمار أية علامات للنضج حتى بعد أن استمر تخزينها لمدة ٦ أسابيع على حرارة ٢٠°م. ولم تُجد معها المعاملة بالإثيلين بتركيز ١٠٠٠ جزء في المليون لمدة ثلاثة أسابيع. كذلك أوقفت المعاملةُ بالكالسيوم أية تحولات حيوية خاصة بالنضج كانت قد بدأت من قبل بالفعل؛ حيث أدت المعاملة بالكالسيوم في أية مرحلة من التلوين إلى وقف التغيرات في اللون وخفض معدل التنفس وإنتاج الإثيلين (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤ب).

ومن بين المنتجات الأخرى التي يؤدى غمرها في محاليل من كلوريد الكالسيوم إلى المحافظة على صلابتها أو تحسينها: ثمار التفاح الكاملة، وثمار الفلفل الكاملة، وثمار الفراولة الكاملة والمقطعة إلى شرائح، وقطع الطماطم المكعبة، وثمار الخوخ الكاملة.

كذلك تستعمل المعاملة بكلوريد الكالسيوم – تجاريًّا – كعامل مثبت لصلابة الطماطم المعلبة والخيار المخلل.

ويمكن تفسير دور الكالسيوم في المحافظة على الصلابة بما يلي:

١- دخول أيونات الكالسيوم في تراكيب معقدة مع الجدر الخلوية والصفيحة الوسطى.

٢- تثبيت أيونات الكالسيوم للغشاء الخلوي.

٣- تأثير الكالسيوم على ضغط الامتلاء بالخلايا.

وقد وجد أن المعاملة الحرارية تؤدى إلى تثبيت صلابة منتجات مثل: البطاطس الكاملة، والكريز، والطماطم، والكنتالوب. وربما يرجع هذا التأثير للمعاملة – منفردة أو مع الغمر في كلوريد الكالسيوم – إلى فعل الـ pectin methyl esterase المنشَّط بالحرارة، وزيادة انتشار الكالسيوم خلال الأنسجة.

هذا .. إلا أن المعاملة بكلوريد الكالسيوم تضفى على المنتجات طعمًا مرًّا، بما تتركه المعاملة من آثار من كلوريد الكالسيوم على سطح المنتج.

وبالمقارنة فإن لاكتات الكالسيوم لا تضفى على المنتجات ذلك الطعم المر. بينما أفاد الغمر فى محاليل منها بتركيز ٠.٥٪–٢٪ إلى تثبيت صلابة الفراولة والجريب فروت (Luna-Guzmán & Barrett ٢٠٠٠).

وقد وجد أن خاصية إبطاء النضج ليست مقصورة على أيون الكالسيوم، حيث أظهرت كاتيونات أخرى ثنائية الشحنة – مثل المنجنيز، والكوبالت، والمغنيسيوم – تأثيرات مماثلة للكالسيوم. هذا .. بينما كانت الكاتيونات الأحادية الشحنة – مثل الصوديوم والبوتاسيوم – أقل تأثيرًا من الكالسيوم (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤ب).

أكسيد النيتريك

أدت معاملة ١١ نوعًا من الخضر والفاكهة بأكسيد النيتريك NO فى النيتروجين لمدة ساعتين ثم تخزينها لمدة ٢٤ ساعة فى الهواء على ٢٠°م و ٦٠٪ رطوبة نسبية إلى خفض الفقد الرطوبى بنسبة ٢٠٪ عما فى حالة المنتجات التى خزنت فى الهواء مباشرة (Ku وآخرون ٢٠٠٠).

السيتوكينين

يعتبر السيتوكينتين بنزيل أدنين من أهم منظمات النمو المؤثرة فى حفظ الخضر من التدهور بعد الحصاد، حيث يحافظ على اللون الأخضر والمظهر الطازج لكل من الهندباء، والسبانخ، والفجل، والبقدونس، والبصل الأخضر، وكذلك النموات الخضرية للمحاصيل الجذرية التى تسوّق بعروشها؛ مثل: الجزر، والفجل.

كذلك يستعمل البنزيل أدنين بتركيز ٥–١٠ أجزاء فى المليون فى المحافظة على المظهر الطازج ومنع التدهور فى كل من: الكرنب، والخس، والأسبرجس، والبروكولى، والكرفس، وكرنب بروكسل (عن Weaver ١٩٧٢).

ويستدل من دراسات Rushing (١٩٨٨) على أن معاملة رؤوس البروكولى – بعد الحصاد – بالسيتوكينين ABG 3062 (إنتاج Abbott Laboratories) بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون أعطت نتائج جيدة جدًا – مقارنة بالكنترول – عند تعبئتها فى أكياس من البوليثيلين المثقب وتخزينها على حرارة ١٦°م. فقد أدت المعاملة إلى خفض معدل التنفس بنحو ٥٠٪ خلال الأربعة أيام الأولى من التخزين، مع الإبقاء على الكلورفيل فى الأنسجة المعاملة. وزيادة القدرة التخزينية للرؤوس بمقدار ٩٠٪ مقارنة بالكنترول.

تغليف المنتجات الطازجة بأغشية من مواد مأكولة

يجرى تغليف المنتجات الطازجة بالأغشية المأكولة بهدف إبطاء تدهورها والحد من إصابتها بالأمراض.

يتوفر عدة أنواع من التحضيرات التجارية التى يمكن أن تغمس فيها الثمار أو ترش بها بعد الحصاد لتحسين مظهرها أو تأخير تدهورها، وهى تعرف باسم مغلفات الثمار fruit coatings.

ومن أنواعها التجارية المستخدمة، ما يلى

١- Tal Prolong:

يتكون من إسترات الأحماض الدهنية للسكروز مع الـ carboxymethylcellulose.

٢- Semperfresh:

يشبه Tal Prolong.

٣- الشيتوسان Chitosan:

عبارة عن N.O-Carboxymethylchitosan ويستخدم فى إنتاج أغشية للثمار تكون ذات نفاذية اختيارية لغازات مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين.

٤- Vapor Gard:

وهو فى الأساس مضاد للنتح ويستعمل – كذلك – فى تغليف الثمار.

٥- Biofresh:

هو – كذلك – إستر أحماض دهنية للسكروز.

٦- Trehalose:

يتكون سكر التريهالوز من جزيئين من الجلوكوز المرتبطين معًا، وهو يستخدم كمغلف للثمار (Thompson ٢٠٠٣).

ومن أكثر الأغذية المأكولة استخدامًا، ما يلى:

شمع الكرنوبا	Carnuba wax
شمع البارافين	Paraffin wax
الشيلاك	Shellac
الصمغ	Gum
الزيوت المعدنية	Mineral oil
المستحلبات	Emulsifiers
أغشية عديدة التسكر	Polysacclaride films
الشموع النباتية	Vegetable waxes
السيليلوز	Cellulose
الليسثين	Lecithin
شمع النحل	Beeswax
الشيتوسان	Chitosan

استخدمت تلك الأغذية مع كل من:

الأسبرجس	البنجر	البروكولى
الجزر	الخيار	الباذنجان
كرنب أبو ركبة	فاصوليا الليما	الكنتالوب
الجزر الأبيض	الفلفل	البطاطس
القرع العسلى	الروتاباجا	الفاصوليا الخضراء
الكوسة	البطاطا	الطماطم
اللفت		

وكانت أهم فوائد استخدامها ما يلي:

١– تثبيط فقد الماء من المنتج وتأخير ذبوله وانكماشه.

٢– تأخير الشيخوخة.

٣– خفض معدل التنفس.

٤– إطالة فترة التخزين.

٥– تثبيط أضرار البرودة.

٦– تأخير التحلل.

٧– تثبيط تمثيل الكلوروفيل والسولانين فى درنات البطاطس.

٨– تأخير النضج فى الطماطم (عن Baldwin ٢٠٠٣).

معاملات الهواء المعدل لأجل التخلص من الحشرات الحية

وجد أن التركيزات المنخفضة من الأكسجين وكذلك التركيزات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون أو كلاهما معًا يفيدان فى الـ. بير من الإصابات الحشرية. إلاّ أن فترة المعاملة التى تلزم للتخلص التام من الحشرات تختلف باختلاف النوع الحشرى، والطور الحشرى المتواجد، ودرجة الحرارة أثناء المعاملة، وتركيز الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. والرطوبة النسبية (جدول ٩–٤).

ويتحدد تحمل الخضر والفاكهة لتركيز ٥٠٪–٩٠٪ ثانى أكسيد كربون بمدى حساسيتها لأضرار ثانى أكسيد الكربون التى تظهر – عادة – بعد نحو ٣–٨ أيام من بدء المعاملة. كذلك يعد تكون الروائح الكريهة والطعم غير المقبول من عيوب التعريض لتركيز من الأكسجين يقل عن ١٪.

وعلى الرغم من تلك الأضرار المحتملة فإن كثيرًا من الحشرات يمكن التخلص منها قبل ظهور الأعراض، بما يسمح بالاستفادة من هذه المعاملة لأغراض الحجر الزراعى (Ke & Kader ١٩٩٢).

جدول (٩-٤): الوقت اللازم لقتل بعض الأطوار الحشرية فى بعض الخضر الطازجة تحت ظروف الجو المتحكم فى مكوناته (عن Ke & Kader ١٩٩٢).

المحصول	الحشرة		الحرارة (م)	الجو المتحكم فيه		الفترة لحين قتل
	النوع	المرحلة		O2%	CO_2%	الحشرة تمامًا (يوم)
التفاح						
	Greenheaded	First/third	٠,٥	٣	٣	٥٩
	(*Planotortrix excessana*)					
	Brownheaded	First/fifth	٠,٥	٣	٣	٦٠-٣٢
	(*Ctenopseustis obliquana*)					
	leafrollers	Instars				
	Apple maggot	Egg	صفر	صفر	—	٢٤
	(*Rhagoletis pomonelia*)	Egg	٢٠	صفر	—	٧
	Apple rust mite	Egg	٢,٨	١	١	١٦٠
	(*Aculus schlechtendali*)					
	European red mite	Egg	٢,٨	١	١	١٦٠
	(*Panonychus ulmi*)	Egg	٧,٥	١	١,٥	١٤
	Codling moth	Larvae	صفر	٢,٠-١,٥	١>	٩١
	(*Cydia pomonella*)	Larvae	٢٧	١	٩٥	٢
	Light brown	First/fifth	٠,٥	٣	٣	٦٠-٣٢
	Apple moth	First/third	٢	٣	٣	٩٠
	(*Epiphyas postvitana*)	First	٢٠	٠,٤	٥	٠,٩
		First	٣٠	٠,٤	٥	٠,٥
		Fifth	٤٠	٠,٤	٥	٠,٢
		instars				
	San Jose scale	Cap/nymph	٢	٣	٣	١١٢
	(*Quadraspidious petniciosus*)	Cap/nymph	١٢	١	٩٠	٢
	Wheat bug	Adult	٠,٥	٣	٣	٥٩
	(Nysius huttom)					

تابع جدول (٩-٤):

المحصول	الحشرة: النوع	الحشرة: المرحلة	الحرارة (م)	الجو المتحكم فيه: O2%	الجو المتحكم فيه: CO_2%	الفترة لحين قتل الحشرة تمامًا (يوم)
الفاكهة ذات النواة الحجرية						
	Codling moth	Adult	٢٥	٠,٥	١٠	٢-٣
	(*Cydia pomonella*)	Egg	٢٥	٠,٥	١٠	٢-٣
		Pupa	٢٥	٠,٥	١٠	٦-١٢
		Egg	٢٥	٨,٤	٦٠	٢-٣
		Pupa	٢٥	٨,٤	٦٠	٦-١٠
الموالح						
	Caribbean fruit fly	Egg	١٥,٦	٠,٥-٢,٠	٣٠	١٠
	(*Anastrepha suspense*)	Pupa	١٥,٦	٠,٥-٢,٠	٣٠	١٠
الفراولة						
	Western flower thrips (*Frankliniella accidentalis*)	Adult/pupa	٢,٥	١	٥٠-٩٠	١-٢
الكاكى						
	Leafroller (*Planotortrix excessana*)	Third instar	٢٠	٠,٥	٥	٤
	Mealy bug (*Pseudococcus longispinus*)	Larvae/adult	٢٠	٠.٥	٥	٧
	Thrips (*Heliothrips* spp.)	Larvae/adult	٢٠	٢-٣	٨-١١	٧
الأسبرجس						
	Thrips	Adult	٢	٧	٧	١٤
	Aphids	Adult	٢	٧	٧	١٤
البطاطا						
	Sweet potato weevil	Adult	٢٥	٢-٤	٤٠-٦٠	٢-٧
	(*Cylas formicarius elegantulus*)	Adult	٣٠	٨	٤٠-٦٠	٤-٨

التخزين تحت ضغط منخفض لأجل مكافحة الأمراض

أدى تعريض ثمار الفراولة بعد الحصاد لضغط جوى منخفض لمدة ٤ ساعات إلى تقليل الإصابة بالبوترتيس *Botrytis cinerea* عندما كان الانخفاض حتى ٠,٢٥ ضغط جوى، وإلى تقليل الإصابة بالعفن الريزوبى *Rhizopus* rot عندما كان الانخفاض فى الضغط حتى ٠,٥ ضغط جوى (Romanazzi وآخرون ٢٠٠١).

المعاملة بالأشعة المؤينة

إن أنواع الطاقة المؤينة (الأشعة المؤينة) التى يمكن استخدامها فى معاملة الخضر والفاكهة الطازجة تتضمن أشعة جاما (من كوبالت ٦٠ أوسيزيم ١٣٧)، وأشعة إكس، وأشعة الإليكترونات المسرّعة accelerated electrons. وقد سمح باستخدام الأشعة المؤينة فى معاملة الخضر والفاكهة الطازجة بجرعات تصل فى حدها الأقصى إلى كيلوجراى kGy واحد.

ومما يميز معاملة التعريض للإشعاع أن إجراءها ممكن بعد تعبئة المنتج؛ مما يقلل من فرصة تلوثها ثانية، كما أنها لا تترك أى متبقيات بالمنتج.

إن وحدة قياس الإشعاع فى النظام الدولى للوحدات هى الجراى Gray (اختصارها Gy)، علمًا بأن الجراى الواحد يعادل جول واحد (1J) من الطاقة لكل كيلوجرام من المنتج المشعع.

ويستخدم الإشعاع بواحدة من ثلاث جرعات، كما يلى:

١– عالية، وهى تزيد عن ١٠ كيلوجراى.

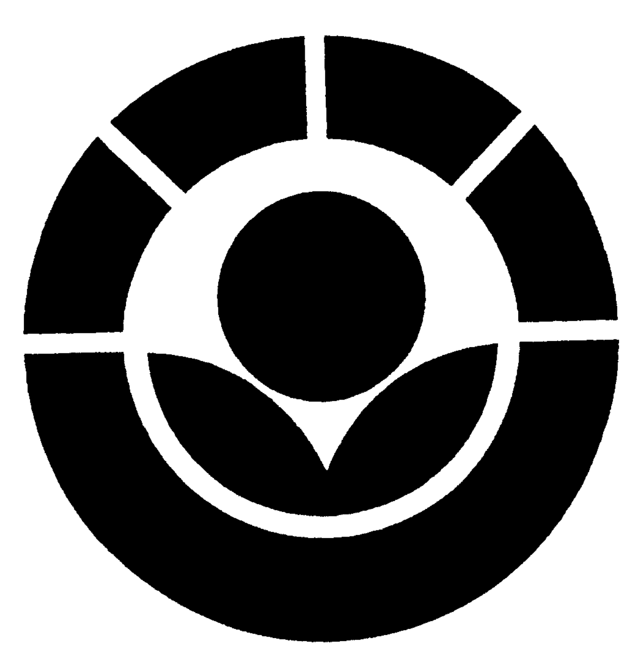
٢– متوسطة، وهى تتراوح بين كيلوجراى واحد، و ١٠ كيلوجراى.

٣– منخفضة، وهى تقل عن كيلوجراى واحد.

يؤدى التعريض للجرعة العالية إلى تعقيم المنتج، بينما تحدث بسترة للمنتج لدى تعريضه للجرعة المتوسطة وهى جرعة تؤدى إلى زيادة فترة صلاحية المنتج للتخزين إما

بسبب خفض أعداد الكائنات الدقيقة المرضة به، وإما بسبب التخلص التام من معظمها. أما التعريض للجرعة المنخفضة فإنه يؤدى إلى تخليص المنتج من الحشرات والكائنات الأخرى غير الدقيقة، مع تأخير نضج الثمار. وتأخير تبرعم البطاطس والبصل، وإحداث تغييرات فى معظم العمليات الفسيولوجية.

يُسمح فى الولايات المتحدة بتطهير الخضر والفاكهة الطازجة بالتعريض لجرعات إشعاع تقل عن كيلوجراى واحد. بينما تزيد الجرعة المسموح بها لأجل تعقيم المنتجات الجافة والخضر المجففة حتى ٣٠ كيلوجراى. ويتعين فى جميع أنحاء العالم تعليم المنتجات المشعة بخاتم الـ radura (شكل ٩-٢) الذى يميزها عن غيرها من المنتجات التى لم تشعع، وهو يكون بلون أخضر.



شكل (٩-٢): خاتم الإشعاع، وهو يعنى أن المنتج قد عومل بالأشعة المؤينة. يتعين وضع هذا الخاتم (الذى يكون باللون الأخضر على المنتجات التجارية) على جميع المنتجات المعاملة بالإشعاع فى جميع أنحاء العالم.

يؤدى التعريض لأشعة جاما أو للإليكترونات إلى أكسدة الأكسجين فى الهواء المحيط وتوليد الأوزون. ويتعين التخلص من هذا الأوزون من حجرة المعاملة ومكان تداول المنتج قبل تعرض العاملين له. ويجرى ذلك بسحب الهواء من داخل المكان والسماح للهواء الخارجى لأن يحل محله، الأمر الذى لا يستكمل إلاّ بعد سحب كل الهواء الداخل؛ مما يجعل من غير العملى تبريد مكان معاملة الإشعاع. ولهذا السبب يجب عدم بقاء المنتج فى مكان المعاملة لفترة طويلة حتى لا ترتفع حرارته، خاصة وأن معاملة التعريض للإشعاع بالجرعة المنخفضة تؤدى – فى حد ذاتها وفى حرارة الغرفة – إلى رفع حرارة المنتج بنحو درجة واحدة مئوية (HortScience ١٩٩٧).

ومن بين أهم تأثيرات معاملات الخضر والفاكهة الطازجة بالأشعة المؤينة، ما يلى:

١– تثبيط التزريع فى الخضر الدرنية والبصلية والجذرية:

وجد – على سبيل المثال – أن المعاملة بجرعة ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ كيلوجراى من الأشعة المؤينة يثبط التبرعم فى كل من البطاطس واليام والطرطوفة والبطاطا والجنجر ginger (الزنجبيل) والبنجر واللفت والجزر والبصل والثوم. وتزداد فاعلية المعاملة إذا أجريت أثناء فترة السكون. ولا تتأثر نوعية الخضر بجرعات تقل عن ٠,١٥ كيلوجراى. إلا أن الجرعات الأعلى قد تُحدث تأثيرات غير مستحبة، مثل ضعف القدرة على التئام الجروح (ضعف تكوين البيريدرم فى درنات البطاطس)، ودكنة لون الأنسجة، وزيادة تركيز السكر فى درنات البطاطس. ونقص محتوى الفيتامينات، وزيادة القابلية للإصابة بمسببات أمراض بعد الحصاد (Kader ١٩٨٦).

وفى البطاطس أمكن تقليل انكماش الدرنات وتزريعها – إلى حد كبير – بمعاملتها بـ ٥٠٠٠ رونتجن، كما أمكن وقف الانكماش والتزريع كلية بالمعاملة بـ ٢٠٠٠٠ رونتجن من أشعة جاما باستعمال كوبالت ٦٠.

وقد أدت الجرعات الأعلى إلى إحداث فقد كبير فى الوزن مع انكماش الدرنات.

كذلك دلت اختبارات التذوق على وجود طعم حلو فى الدرنات بعد الإشعاع، كما أثبتت التجارب التى تلت ذلك وجود اختلافات بين الأصناف فى استجابتها للإشعاع. ولكن لا يوجد أى شك فى فائدة وجدوى هذه الطريقة فى منع انكماش وتزريع درنات البطاطس. وقد أمكن تخزين البطاطس بهذه الطريقة لعدة سنوات.

كذلك أدت معاملة أبصال البصل إلى منع تزريعها، سواء أكانت الأبصال كبيرة، أم صغيرة، برغم أن النسيج الميرستيمى المسئول عن التزريع يوجد فى وسط البصلة، بعكس عيون البطاطس التى يوجد فيها النسيج المرستيمى قريبًا من سطح الدرنة.

كما وجد أن التعريض للإشعاع يمنع التزريع فى الجزر، والبنجر، واللفت، والطرطوفة، لكن حدثت أيضًا نسبة عالية من العفن. وبرغم أنه أمكن التغلب على العفن فى حالة الجزر بالغسيل والتنظيف والتخزين فى أكياس بلاستيكية، إلا أن الضرر المحتمل حدوثه للخلايا الخارجية السطحية يجعل الجذور أقل مقاومة للعفن. كما أن الإشعاع يقلل من تكوين طبقة البيريدرم؛ وبالتالى من فرصة التئام الجروح كما هو حادث فى البطاطس. وعمومًا .. فإن سرعة التعفن تتوقف على درجة حرارة المخزن (عن Grosch ١٩٦٥).

وبصفة عامة .. فإن أشعة جاما تعتبر مكلفة فى استخدامها، ونتائجها ليست دائمًا إيجابية. فمن بين ٢٢ نوعًا من الخضر والفاكهة التى عوملت بالإشعاع كانت هناك آثار سلبية للمعاملة فى عشرين نوعًا منه. كظهور لون غير طبيعى، أو طراوة، أو نضج غير طبيعى، أو فقد فى الطعم، بينما لم تظهر آثار سلبية فى أى من عيش الغراب أو التين. وبرغم أن الإشعاع بجرعة صغيرة (٨–١٠ كيلوراد) يفيد فى منع تبرعم البطاطس والبصل، إلا أن هذه المعاملة لا تمنع حدوث العفن. وإلى جانب ذلك .. فإن معاملات الإشعاع تحدث زيادة فى التبقع الأسود الداخلى فى البطاطس، وتلون النموات القمية الداخلية فى البصل (عن McGurie & Sharp ١٩٩٥).

٢– تثبيط نمو مهاميز الأسبرجس بعد الحصاد:

يفيد فى هذا الشأن تعريض المهاميز لجرعة قدرها ٠,٠٠٥ إلى ٠,١٥ كيلوجراى من

الأشعة المؤينة، حيث تمنع استطالة المهاميز وانحناءها. إلا أن شحن المهاميز وهى فى وضع رأسى مع استعمال جو معدل تزيد فيه نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ١٠٪–١٥٪ يعد إجراء أكثر واقعية لتحقيق نفس أهداف التعريض للأشعة.

٣– منع نمو عيش الغراب بعد الحصاد:

يؤدى تعريض عيش الغراب بعد الحصاد لجرعة قدرها ٠,٠٦ إلى ٠,٥ كيلوجراى إلى منع تفتح القلنسوة واستطالة الساق، وتقليل الأعفان السطحية، والحد من دكنة الخياشيم، والمحافظة على المظهر الطازج للمشروم. هذا إلاّ أن التبريد السريع للمشروم والمحافظة على حرارته على الصفر المئوى يحقق نفس أهداف التعريض للأشعة.

٤– التخلص من التلوث الحشرى والإصابات المرضية بالمنتجات:

يمكن أن تُحمل عديد من الأنواع الحشرية مع منتجات الخضر والفاكهة الطازجة، وكثير من تلك الحشرات وخاصة ذباب الفاكهة من العائلة Tephritidae (مثل ذبابة فاكهة البحر الأبيض المتوسط، وذبابة فاكهة الشرق، وذبابة فاكهة المكسيك، وذبابة فاكهة الكاريبى) يمكن أن تؤثر سلبًا على التجارة بين الدول. وتعد المعاملة بالأشعة المؤينة أفضل وأضمن وسيلة للتخلص من ذلك التلوث الحشرى (عن Kader ١٩٨٦).

وقد أدى تعريض جذور البطاطا لأشعة جاما (بجرعات وصلت إلى ١٠٠٠ Gy) إلى التخلص من سوسة البطاطا *Cylas formicarius*، كما أحدثت المعاملة زيادة فى نسبة السكر فى الجذور المشوية (McGuire & Sharp ١٩٩٥).

وتفيد المعاملة بالإشعاع فى تقليل أمراض المخازن بتقليل الميكروبات السطحية. وقد أدت هذه المعاملة بالفعل إلى زيادة مدة التخزين، وكان التغير طفيفًا فى الطعم والرائحة. ومن المحاصيل التى استجابت بدرجة جيدة للإشعاعات .. الكرنب، والسبانخ، والأسبرجس، والبروكولى، وكذلك الفاصوليا، والبسلة، والذرة السكرية (عن Grosch ١٩٦٥).

ويمكن إيجاز تأثير الجرعات المتزايدة من الأشعة المؤينة على الخضر والفاكهة الطازجة فيما يلى:

الجرعة (كيلوجراى kGy)	التأثير
٠,٠٥–٠,١٥	تثبيط التزريع فى الدرنات والأبصال والجذور – تثبيط النمو فى الأسبرجس وعيش الغراب
٠,١٥–٠,٧٥	التخلص من الحشرات
٠,٢٥–٠,٥٠	تأخير نضج بعض الثمار الاستوائية مثل الموز والمانجو والباباظ
> ١,٧٥	مكافحة أمراض ما بعد الحصاد
١,٠–٣,٠	إسراع الطراوة وفقد الصلابة – ظهور طعم غير مرغوب فيه فى بعض المنتجات
> ٣,٠	فقد شديد للصلابة – النضج غير الطبيعى – حدوث بعض العيوب الفسيولوجية – تغير الطعم

ويمكن تقسيم الخضر والفاكهة الطازجة حسب تحملها لجرعة من الأشعة المؤينة تقل عن كيلوجراى واحد كما يلى (عن Kader ١٩٨٦).

التحمل النسبى	الحاصلات
عالٍ	التفاح – الكريز – البلح (التمر) – الجوافة – المانجو – الكنتالوب – النكتارين – الباباظ – الخوخ – الراسبرى – الفراولة – الطماطم
متوسط	المشمش – الموز – التين – الجريب فروت – الكمكوات – البرتقال – الكمثرى – الأناناس – البرقوق – التانجرين
منخفض	الزبدية – الخيار – العنب – الفاصوليا الخضراء – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – الزيتون – الفلفل – الكوسة – الخضر الورقية – البروكولى – القنبيط.

ويظهر فى جدول (٩–٥) حدود جرعة الإشعاع لإحداث تأثيرات معينة فى عدد من الحاصلات البستانية (عن Wills وآخرين ١٩٩٨).

جدول (٩-٥): حدود جرعة الإشعاع لإحداث تأثيرات معينة فى بعض الحاصلات البستانية.

المحصول	التأثير المستهدف للإشعاع	الجرعة (kGy) الحد الأقصى الممكن تحمله	الحد الأدنى اللازم	محددات التطبيق التجارى
التفاح	مكافحة الاسمرار السطحى والقلب البنى	١-١,٥	١,٥	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة – فقد الأنسجة لصلابتها
المشمش والخوخ والنكتارين	مكافحة العفن البنى	٠,٥-١,٠	٢,٠٠	طراوة الأنسجة
الأسبرجس	تثبيط النمو	٠,١٥	٠,٠٥-٠,١	غير اقتصادى – قصر موسم الحصاد – المساحات المزروعة صغيرة
الزبدية	تثبيط النضج والأعفان	٠,٢٥	—	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة – طراوة الأنسجة وتلونها باللون البنى
الموز	تثبيط النضج	٠,٥	٠,٣٠-٠,٣٥	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الليمون الأضاليا	تثبيط أعفان *Penicillium*	٠,٢٥	١,٥-٢,٠	تحدث أضرار شديدة بالثمار عند جرعة ٠.٥ كيلوجراى أو أعلى من ذلك – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
عيش الغراب	تثبيط نمو الساق وتفتح القلنسوة	١	٢	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
البرتقال	تثبيط أعفان *Penicillium*	٢	٢	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة

تابع جدول (٩–٥).

المحصول	التأثير المستهدف للإشعاع	الجرعة (kGy) الحد الأقصى الممكن تحمله	الحد الأدنى اللازم	محددات التطبيق التجارى
الباباظ	التطهير من ذبابة الفاكهة	٠,٧٥–١	٠,٢٥	عدم توفر مساحات مزروعة كافية للتعميم التجارى
الكمثرى	تثبيط النضج	١	٠,٢٥	عدم انتظام النضج – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
البطاطس	تثبيط التزريع	٠,٢	٠,٠٨–٠,١٥	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الفراولة	تثبيط العفن الرمادى	٢	٢	توفر بدائل أرخص وبنفس الكفاءة
عنب المائدة	تثبيط العفن الرمادى	٠,٢٥–٠,٥	—	طراوة الأنسجة وتكون طعم غير مقبول – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الطماطم	تثبيط عفن ألترناريا	١–١,٥	٣	عدم انتظام النضج – طراوة الأنسجة

هذا .. إلا أن الاستفادة من تقنية معاملة منتجات الخضر والفاكهة الطازجة بالأشعة المؤينة لا تخلو من المحددات والمشاكل التى تواجهها، والتى منها ما يلى:

١– عدم توفر التقنيات اللازمة للمعاملة بالقرب من أماكن الإنتاج.

٢– مخاطر التعريض لجرعات زائدة وتأثيرها السلبى الكبير على المنتجات المعاملة.

٣– التكلفة العالية.

٤– عدم تقبل المستهلكين لفكرة تناول منتجات سبق تعريضها للإشعاع على الرغم من عدم وجود أى مخاطر على الصحة جراء تداولها واستعمالها فى الغذاء.

٥- المشاكل اللوجيستية الخاصة بتداول ومعاملة كميات كبيرة من مختلف المنتجات (عن Kader ١٩٨٦).

المعاملة بالزيوت الأساسية لأجل مكافحة الأمراض

تلعب الزيوت الأساسية دورًا كمضادات فطرية، واستخدم بعضها لهذا الغرض في دراسات بعد الحصاد. ومن أهم مميزاتها صلاحيتها للاستعمال في صورة أبخرة، ويعتقد بأنها تلعب دورًا في آليات الدفاع النباتي ضد الكائنات الدقيقة المرضة.

وقد اختبر تأثير عديد من المكونات المتطايرة لبعض الزيوت الأساسية على نمو كثير من الفطريات – التي تسبب مشاكل مرضية لمنتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد – وذلك في البيئة الصناعية. تضمنت المكونات المتطايرة ما يلي:

(E)-anethole	p-anisaldehyde	carvacrol
(-)-carvone	1,8-cineole	(+)-limonene
myrcene	(+/-)-alpha-phellandrene	(+)-alpha-pinene

أما الفطريات التي أجرى عليها الاختبار فقد اشتملت على مايلي:

Botrytis cinerea	*Monilina laxa*
Mucor piriformis	*Panicillium digitatum*
Penicillium italicum	*Penicillium expansum*
Rhizopus stolonifer	

ولقد حُصل على أفضل النتائج باستعمال الـ carvacrol (وهو فينول)، فعند تركيز ١٢٥ جزءًا في المليون توقف نمو جميع الفطريات بصورة تامة ونهائية (بفعل fungicidal أي قاتل للفطريات) فيما عدا بالنسبة للفطر *P. italicum*، كذلك توقف إنبات جراثيم *M. laxa*، و *M. piriformis*، و *R. stolonifer* عند نفس التركيز. ولكن ليس عند تركيز ٦٢ جزءًا في المليون.

كذلك ظهر تأثير موقف مؤقت للنمو الفطرى (fungistatic) عندما كانت المعاملة بأى من المركبات *p*-anisaldehyde (وهو ألدهايد)، أو carvone-(-) (وهو كيتون)، أو -(E) anethole (وهو إثير ether) عند ٢٥٠–١٠٠٠ جزء فى المليون. وذلك بترتيب تنازلى لتأثير تلك المركبات (Caccioni & Guizzardi ١٩٩٤).

وأوضحت عديد من الدراسات فاعلية بعض الزيوت الأساسية فى وقف نمو الفطر *Botrytis cinerea*. ومن بين الزيوت التى تأكد جدواها فى هذا الشأن كلاً من الزعتر الأحمر *Thymus zygis*، والفصوص البرعمية لـ *Eugenia caryophyllata*، وأوراق القرفة *Cinnamomum zeylanicum*. كذلك فإن الزيت الأساسى لكل من *Monarda citrodora*، و *Melaleuca alternifolia* تظهر نشاطًا مضادًا لمدى واسع من الفطريات التى تصيب الخضر والفاكهة بعد الحصاد.

ويبدو أن تأثير الزيوت لا يرجع إلى مركب واحد بعينه فى الزيت الأساسى، وإنما إلى تأثير تداؤبى synergistic لعدد من تلك المركبات، وهى التى تتواجد فى كل زيت – عادة – بالعشرات وربما بالمئات (Sydney Postharvest Laboratory Information Sheet – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وقد أدى غمس ثمار الطماطم فى مستحلب زيت الزعتر thyme بتركيز ٥٪ أو زيت الـ oregano بتركيز ١٠٪ إلى خفض إصابتها أثناء التخزين بكل من الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Alternaria arborescens* (Plotto وآخرون ٢٠٠٣).

كما أدت معاملة ثمار الطماطم بالمركب trans-cinnamaldehyde بتركيز ١٣ مللى مول (وهو مركب يتواجد طبيعيًا فى النباتات) إلى خفض أعداد البكتيريا والفطريات على سطح الثمرة إلى العُشر عندما كان غمس الثمار لمدة ١٠ دقائق، وإلى تأخير ظهور أى نموات فطرية لمدة أسبوع كامل عندما كان الغمس لمدة ٣٠ دقيقة مع حفظ الثمار بعد ذلك فى جو معدل على ١٨°م؛ علمًا بأن *Penicillium* sp. كان هو الفطر السائد على كأس الثمار المخزّنة (Smid وآخرون ١٩٩٦).

وفى الكمثرى .. أمكن مكافحة الفطر *Penicillium expansum* – مسبب مرض العفن الأزرق – فى الثمار المخزنة بالمعاملة بأبخرة بعض المركبات المتطايرة ذات الأصول النباتية، مثل:

carvacrol	trans-2-hexenal
citral	trans-cinnamaldehyde

وكانت أفضل المعاملات فى مكافحة الفطر هى التعريض لأبخرة trnas-2-hexanal بمعدل ١٢,٥ ميكروليتر/لتر على مدى ٢٤ ساعة تبدأ بعد ٢٤ ساعة من الحقن بالفطر المرض (Neri وآخرون ٢٠٠٦).

ومن بين الزيوت الأساسية التى أعطت نتائج إيجابية فى هذا المجال الثيمول thymol الذى يُتحصل عليه من الزعتر thyme (وهو: *Thymus capitatus*). والذى استخدم فى تبخير الكريز لحمايته من الإصابة بالعفن الرمادى (*B. cinerea*) والعفن البنى (*Monilia fructicola*) بتركيزات ٣٠، و ٤ مجم/لتر للفطرين، على التوالى. هذا .. مع العلم بأن الثيمول يدخل ضمن غذاء الإنسان وكإضافات للأغذية.

كذلك استخدم الكارفون carvone– الذى يُتحصل عليه من الزيت الأساسى للنبات *Carum carvi* – تجاريًا فى منع تزريع البطاطس فى المخازن إضافة إلى أنه وفر لها حماية من الإصابة بالأعفان. وهو يتوفر تجاريًا فى هولندا تحت الاسم التجارى TALENT (عن Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

هذا .. ويمكن أن تنتقل يرقانة القواقع slugs (*Deroceras reticulatum*) مع درنات البطاطس من الحقول إلى المخازن إذا ما كان الموسم رطبًا وأجرى الحصاد والتربة رطبة، حيث تنتقل اليرقانة مع الطين الذى قد يكون ملتصقًا بالدرنات؛ بما يعنى استمرار حدوث الأضرار فى المخازن. وقد وجد أن معاملة الدرنات المخزنة بمانع التبرعم المحتوى على الكارفون carvone (التحضير التجارى Talent) بمعدل ٥٠ مل من المركب التجارى لكل طن من الدرنات أدت إلى مكافحة اليرقانات فى خلال أيام قليلة (Ester & Trul ٢٠٠٠).

وإضافة إلى ما تقدم بيانه فقد أثبتت الزيوت الأساسية لنباتات أخرى جدواها في حماية بعض المنتجات البستانية من الإصابة بالأعفان بعد الحصاد. وكان منها (عن Tripathi & Dubey ٢٠٠٤):

Mentha arvensis *Salvia officinalis*

Zingiber officinale

وقد دُرس تأثير المعاملة بخمسة زيوت أساسية (هي تلك الخاصة بالزعتر thyme، والمريمية sage، وجوزة الطيب nutmeg، الإيوكابتس eucaptus، والسَّنا cassia) ضد الفطر *Alternaria alternata*. وظهر لكل من زيت السَّنا والزعتر نشاط مضاد للفطر. ولكن بدرجة أكبر لزيت السَّنا وذلك عندما استعمل بتركيز ٣٠-٥٠٠ جزء في المليون (Feng وآخرون ٢٠٠٧).

المعاملة بمركبات حيوية مضادة للفطريات والبكتيريا

حامض الخليك

يفيد التبخير بحامض الخليك كوسيلة للتعقيم السطحي لمنتجات الخضر والفاكهة الطازجة. وهو منتج طبيعي لا ضرر منه على صحة الإنسان. ولا يقتصر فعل حامض الخليك على خفض الرقم الأيدروجيني فقط. وإنما يتعداه إلى اختراقه للخلايا الميكروبية. وإحداث سميته فيها. ولقد أفادت المعاملة بأبخرة حامض الخليك في مكافحة عديد من الأعفان في التفاح والعنب والمشمش والبرقوق والكريز (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

وأوضحت دراسات Sholberg & Gaunce (١٩٩٥) أن تبخير ثمار بعض المحاصيل (الطماطم، والتفاح، والعنب، والبرتقال، والكيوى) بعد الحصاد بحامض الخليك Acetic Acid بتركيزات تراوحت بين ٢.٠ و ٤.٠ مجم/لتر من الهواء (بعد حقنها بفطريات متنوعة، هي: *Botrytis cinerea*، و *Penicillium expansum*، و *P. italicum*) منع تعفنها دون أن تحدث أية تأثيرات سلبية بها وقد أدت زيادة

الرطوبة النسبية (من ١٧٪ إلى ٩٨٪) إلى زيادة فاعلية المعاملة عندما أجريت على أى من ٥ °م أو ٢٠ °م.

حامض الأوكساليك

أفاد غمر ثمار المانجو فى محلول حامض أوكساليك بتركيز ٥ مللى مولار لمدة ١٠ دقائق على ٢٥ °م ثم تخزينها على ١٤ ° ± ١ °م لمدة خمسة أسابيع فى تثبيط تدهور الثمار وإطالة فترة الصلاحية للتخزين. وذلك من خلال تأخير اكتمال نضج الثمار، بالإضافة إلى تثبيط إصابتها بالفطر *Colletotrichum gloesporioides* (Zheng وآخرون ٢٠٠٧).

الجلوكوسينولات

تعد الجلوكوسينولات glucosinolates من المركبات الطبيعية ذات النشاط المضاد للميكروبات، وهى مجموعة تتضمن نحو ١٠٠ مركب تنتجها الصليبيات. يؤدى تحلل الجلوكوسينولات إلى إنتاج الـ D-glucose وأيون الكبريتات وسلسلة من المركبات مثل الأيزوثيوسيانات isothiocyanate، والثيوسيانات thiocyanate، والنيتريل nitrile. ولقد تأكدت سمية الجلوكوسينولات التى تم اختبارها ضد بعض الكائنات الدقيقة المسببة للأعفان بعد الحصاد فى الكمثرى (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

البروبولس

إن البروبولس propolis منتج راتينجى طبيعى يُحصل عليه من براعم وقلف الحور وأشجار الصنوبر. يحتوى البروبولس على بروتين، وأحماض أمينية، وفيتامينات، وعناصر، وفلافونات، ويتميز بكونه مضاد حيوى لكل من الفطريات والبكتيريا وقدرته على الحد من بعض مسببات الأعفان بعد الحصاد مثل *Botrytis cinerea*، و *Penicillium expansum* (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

مستخلصات الفطر *Fusarium semitectum*

يستعمل الفطر *Fusarium semitectum* – الذى يعيش فى التربة – فى المكافحة

الحيوية. وقد عُزل منه مركبان، هما fusapyrone، و deoxyfusapyrone وجد أنهما يحدان من نمو الفطر *Botrytis cinerea* – مسبب مرض العفن الرمادى – فى كل من البيئات الصناعية والعنب. وقد استخدم الـ fusapyrone بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون – بنجاح – مع العنب فى منع الإصابة بالعفن الرمادى. ونظرًا لضعف سمية هذين المركبين للإنسان والحيوان، وعدم سميتهما للنباتات، فإن استعماله على نطاق تجارى آخذ فى الانتشار على العنب وغيره من المحاصيل (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

المعاملة بمركبات كيميائية مضادة للفطريات والبكتيريا

مركبات الكالسيوم

اقتُرح معاملة ثمار الخيار بالكالسيوم قبل تعرضها للإصابة بالفطر *Botrytis cinerae* لأن المعاملة يمكن أن تزيد من مقدار الكالسيوم المرتبط بالجدر الخلوية، وبذا تقل فرصة هضم الكالسيوم بواسطة إنزيمات الفطر البكتينوليتية pectinolytic enzymes (Chardonnet & Doneche ١٩٩٥).

كما أدى غمر ثمار الكنتالوب المجروحة صناعيًّا فى محلول كلوريد كالسيوم بتركيز ١١٪ Ca^{+2} إلى خفض إصابتها بالفطر *Myrothecium roridum* المسبب للعفن إلى نحو ٦٦٪ من شدة إصابة ثمار كنترول. ونظرًا لأن الكالسيوم لم يكن له تأثير مباشر على الفطر فى البيئات الصناعية، لذا .. يعتقد بأن العنصر يُحدث تأثيره بطريق غير مباشر، وذلك من خلال تأثيره على تطور الفطر الممرض فى النسيج الثمرى (De Lima وآخرون ١٩٩٨).

ووجد أن مقاومة البطاطس لبكتيريا العفن الطرى، والتفاح للفطر *Penicillium expansum* تزداد بزيادة محتوى أنسجتها من عنصر الكالسيوم (عن Conway وآخرين ١٩٩٤).

أكسيد النيتروز

أدى تعريض بعض أنواع الثمار لغاز أكسيد النيتروز nitrous oxide (NO_2) بتركيز

١٠، أو ٣٠، أو ٥٠، أو ٨٠٪ مخلوطًا مع الأكسجين بنسبة ٢٠٪ إلى تأخير ظهور الإصابة بعديد من الفطريات التى حقنت بها، وإلى إبطاء اتساع البقع المرضية. وتوقف مدى تأثير المعاملة على تركيز الغاز ومدة المعاملة. ويعتقد بأن ذلك التأثير يرجع إلى التأثير المثبط المباشر للغاز على النمو الفطرى، بالإضافة إلى دور المعاملة فى زيادة المقاومة الطبيعية لأنسجة العائل.

وقد كانت الفطريات التى استخدمت فى الدراسة وتأثرت بالمعاملة كما يلى:

العائل	الفطريات
التفاح	*Alternaria alternata*
	Penicillium expansum
الفراولة	*Botrytis cinerea*
	Fusarium oxysporum f. sp. *fragariae*
	Rhizopus stolonifer
اليوسفى	*Geotrichum candidum*
الطماطم	*F. oxysorum* f. sp. *lycopersici*
الكاكى	*Colletotrichum acutatum*
الجوافة	*R. stolonifer*

(Qadir & Hashinaga ٢٠٠١).

أملاح البيكربونات

أفادت المعاملة بأى من بيكربونات البوتاسيوم، أو بيكربونات الصوديوم فى مكافحة الفطر *Alternaria alternata* فى ثمار الفلفل بعد الحصاد (Ziv وآخرون ١٩٩٤).

حامض الجبرلليك

أدت معاملة الكرفس بحامض الجبرلليك قبل التخزين على ٢ °م إلى خفض نسبة الإصابة بالعفن — بعد شهر من التخزين — إلى ٧٪ فقط مقارنة بنسبة ٣٤٪ فى معاملة

الشاهد. ويبدو أن هذا التأثير كان مرده إلى إبطاء الجبرالين لتحول مركب mamesin (+) الشديد الفاعلية ضد الفطريات إلى مركب psoralens الأقل فاعلية والمسئول في نفس الوقت عن الحالة الطبية phytophotodermatitis التي تصيب العاملين في حقول الكرفس والمشتغلين بتداول المحصول بعد الحصاد (Afek وآخرون ١٩٩٥).

المعاملة بمثيرات المقاومة المستحثة للأمراض

تتضمن مثيرات المقاومة المستحثة للأمراض في المنتجات البستانية بعد الحصاد، ما يلي:

أولاً: المثيرات الكيميائية:

تقسم المثيرات الكيميائية – بدورها – إلى الفئات التالية:

١– مثيرات عضوية طبيعية:

من أمثلة تلك المثيرات ما يلي:

أ– حامض السلسيلك.

ب– الشيتوسان.

٢– مثيرات غير عضوية:

من أمثلة تلك المثيرات ما يلي:

أ– حامض الفوسفونيك phosphonate.

ب– أملاح حامض الفوسفونيك مثل فوسفونات البوتاسيوم.

٣– مثيرات عضوية مخلقة صناعيًا:

من أمثلة تلك المثيرات ما يلي:

أ– الـ INA (وهو 2،6-dichloroisonicotinic acid).

ب– الـ Acibenzolar (وهو: benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester)، ويعرف اختصارًا بالأسماء: ASM، و BTH، و CGA 245704، ومن منتجاته التجارية Bion، و Actigard.

ويظهر فى جدول (٩-٦) أمثلة لبعض المستحثات الكيميائية للمقاومة ضد أمراض بعد الحصاد فى الحاصلات البستانية.

جدول (٩-٦): أمثلة لبعض المستحثات الكيميائية للمقاومة ضد أمراض بعد الحصاد فى الحاصلات البستانية (Terry & Joyce ٢٠٠٤).

المسبب الفطرى المستهدف	المستحث الكيميائى	المحصول	
B. cinerea	Salicylic acid	*Actinidia deliciosa* (kiwifruit)	الكيوى
B. cinerea	Gibberellic acid	*Apium graveolens* (celery)	الكرفس
Alternaria sp.	Salicylic acid	*Chamelaucium uncinatum*	
Epicoccum sp.		*(Geraldton waxflower)*	
P. digitatum	Jasmonic acid	*Citrus paradise* (grapefruit)	الجريب
P. digitatum	Methyl jasmonate		فـــروت
Alternaria sp.	Acibenzolar	*Cucumis melo* (rock and hami melon)	الكنتالوب
Fusarium sp.			
Rhizopus sp.			
A. alternata	Gibberellic acid	*Diospyros kaki* (persimmon)	الكاكى
B. cinerea	Acibenzolar	*Fragaria ananassa* (strawberry)	الفراولة
C. gloeosporioides	Salicylic acid	*Mangifera indica* (mango)	المانجو
C. gloeosporioides	Carbon dioxide	*Persea americana* (avocado)	الزبدية
C. gloeosporioides	Cytokinins		
B. cinerea	Gibberellic acid	*Rosa hybrida* (rose)	الورد
B. cinerea	Methyl jasmonate		
Fusarium semitectum	Acibenzolar	*Solanum tuberosum* (potato)	البطاطس

ثانيًا: المثيرات الفيزيائية:

أن من بين المثيرات الفيزيائية لحث المقاومة فى النباتات ما يلى:

١- المعاملة الحرارية السابقة للتخزين.

٢- زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون.

٣- التعريض للأشعة المؤينة.

٤- التعريض للأشعة فوق البنفسجية عند طول موجى معين UV-C.

ثالثاً: المثيرات البيولوجية:

تتضمن المثيرات البيولوجية عددًا كبيرًا من الكائنات الدقيقة (Terry & Joyce ٢٠٠٤).

ونقدم تحت العناوين الرئيسية القليلة التالية شرحًا لعدد من مختلف مثيرات المقاومة الطبيعية.

المعاملة بالمركبات الكيميائية المثيرة للمقاومة الطبيعية

نتناول بالشرح تحت هذا العنوان بعض الأمثلة، كما يلى:

الـ BTH

أحدث رش نباتات الكنتالوب مرة واحدة بالـ benzothiadiazole (اختصارًا: BTH) قبل الحصاد بأسبوعين خفضًا معنويًا فى إصابات الثمار بعد الحصاد — بأمراض المخان، وخاصة تلك التى تسببها فطريات *Fusarium*، و *Alternaria*، و *Rhizopus*، كذلك أعطى الرش أربع مرات كل ١٢ يومًا خلال مرحلتى الإزهار ونمو الثمار بكل من β-aminobutyric acid (اختصارًا: BABA)، و 2,6-dichloroisonicotinic acid (اختصارًا: INA) نتائج مماثلة. أما قبل الحصاد فقد أدت المعاملة بأى من الـ INA أو الـ BTH إلى خفض إصابة النباتات بكل من البياض الدقيقى والبياض الزغبى (Bokshi وآخرون ٢٠٠٦).

الـ harpin

أدى غمر ثمار الكنتالوب فى محلول harpin (وهو حاث بكتيرى لتفاعل فرط الحساسية) بتركيز ٩٠ جزءًا فى المليون إلى خفض إصابتها بالأعفان التى تسببها

فطريـــات *Alternaria alternata*، و *Fusarium semitectum*، و *Trichothecium roseum*. وذلك من خلال حث المقاومة ضدها. علمًا بـأن الـ harpin لـيس سـامًا لتلـك الفطريات فى البيئات الصناعية (Yang وآخرون ٢٠٠٧).

الـ BFO

تؤدى المعاملة بالمركب burdock fructooligosaccharide (اختصارًا: BFO) إلى حث الجهاز المناعى فى النباتات وإكسابها مقاومة جهازية. ففى الطماطم .. أدت المعاملـة إلى تثبيط الإصابة بأمراض ما بعد الحصاد سواء أكانت الإصابة بها طبيعية، أم بالحقن كمـا فى *Botrytis cinerea*.

وقد أحدثت المعاملة بالـ BFO التغيرات الإنزيمية التالية:

١– زيادة مستوى الـ mRNA للجينات التى تشفر للبروتينـات ذات الصـلة بالنشـاط المرضى (PRs)، مثل PR-1a، و PR-2a (وهو extracellular β-1,3-glucanase)، و PR-2b (وهو intracellular β-1,3-glucanase)، و PR-3a (وهـو extracellular chitinase)، و PR-3b (وهو intracellular chitinase).

٢– تراكم الــ mRNA الخـاص بـالجين phenylalanine ammonia lyase فـى ثمـرة الطماطم.

٣– زيادة نشاط إنزيمات البيروكسيديز peroxidases.

٤– زيادة تمثيل الفينولات.

إلا أن المعاملة لم تؤثر فى نشاط إنزيم البـولى فينـول أوكسـيديز polyphenol oxidase (Wang وآخرون ٢٠٠٩).

الأوزون

أظهرت معاملة جذور الجزر – أثناء التخزين – بالأوزون بتركيـز ٦٠ ميكـروليتر/لـتر نقصًا قدره ٥٠٪ فى النمو اليومى لكـل مـن الفطـرين *Botrytis cinerea*، و *Sclerotinia*

sclerotiorum. مما يدل على أن للأوزون تأثير فطرى مثبط fungistatic (Liew & Prange ١٩٩٤).

كما أدى تعريض ثمار الطماطم – بعد الحصاد – للأوزون بتركيزات تراوحت بين ٠,٠٠٥ و ٥,٠ ميكرومول/مول إلى الحد من إصابتها بكل من الفطرين *Alternaria alternata* مسبب مرض البقع السوداء، و *Colletotrichum coccodes* مسبب مرض الأنثراكنوز. كما ازداد تأثير المعاملة بزيادة تركيز الأوزون المستعمل. إلاّ أن تركيز ٠,٢ ميكرومول/مول – وهو الحد الأقصى الحرج المسموح به في دول السوق الأوروبية لكي لا تتأثر صحة الإنسان – كان مؤثرًا للغاية فى الحماية من إصابة الثمار بأى من الفطرين. هذا .. ولم تكن المعاملة بالأوزون مؤثرة على الفطر فى البيئات الصناعية؛ بما يدل على أن تأثير الأوزون فى النبات يرجع – ولو جزئيًا – إلى تغيرات يحدثها فى التفاعلات بين الثمار والمسببات المرضية (Tzortzakis وآخرون ٢٠٠٨).

المعاملة بمركبات الأيض الثانوية كمثيرات للمقاومة

يُعرف حاليًا حوالى ١٠٠٠٠ من مركبات الأيض النباتى الثانوية – التى أمكن التعرف على تركيبها الكيميائى – والتى ثبت أن لها خاصية التضادية الحيوية للمسببات المرضية، ولكن العدد الحقيقى قد يصل إلى ٤٠٠٠٠٠ مركب يمكن أن يلعب معظمها دورًا أساسيًّا فى التفاعلات بين العوائل النباتية والمسببات المرضية. ونظرًا لأصلها النباتى فإن تلك المركبات تتحلل بيولوجيًّا ولا يتبقى أثر منها فى البيئة (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

ونلقى الضوء تحت عناوين أخرى من هذا الفصل على المعاملات التى تتضمن بعض مركبات الأيض الثانوية، مثل:

المثيل ساليسيلات

أدى تبخير ثمار الفراولة بالـ methyl salicylate إلى خفض إصابتها بالعفن الرمادى

بنسبة الثلث مقارنة بالإصابة فى ثمار الكنترول. وقد تحول الـ methyl salicylate فى الثمار إلى حامض سلسيلك وأدى إلى زيادة نشاط الشيتينيز (Kim & Choi ٢٠٠٢).

حامض الجاسمونك والميثيل جاسمونيت

يعد كل من حامض الجاسمونك jasmonic acid، والميثيل جاسمونيت methyl jasmonate — اللذان يطلق عليهما معًا اسم jasmonates — من الهرمونات الطبيعية المنظمة للنمو النباتى، والتى يعرف وجودها فى المملكة النباتية على نطاق واسع. وهى تتراكم فى الأنسجة النباتية التى تتعرض للإصابة بالمسببات المرضية، بما يفيد بأنها تلعب دورًا فى حث النظام الدفاعى فى النباتات. ولقد تبين أنها تنشط الجينات التى تشفر لتمثيل مضادات الفطريات مثل الـ thionin، والـ osmotin، وبعض الفيتوألاكسينات.

ولقد استخدم الـ methyl jasmonate كمعاملة بعد الحصاد للحد من إصابة الفراولة بالعفن الرمادى الذى يسببه الفطر *Botrytis cinerea*.

ومما يميز الـ methyl jasmonate أنه متطاير فلا توجد حاجة لغمر الثمار فى الماء. كما أن رائحته زكية، ومن خصائصه الارتباط بالمواد البوليميرية؛ مما يطيل من فترة تواجده فى المخازن المعاملة. أما حامض الجاسمونيك فهو قابل للذوبان فى الماء، مما يجعله صالحًا لمعاملات الغمر (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

تفيد معاملة ثمار الفراولة بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate فى مكافحة الأعفان. وهذا المركب رخيص نسبيًا ولا يلزم للمعاملة به سوى كميات بسيطة، فلا يحتاج الأمر لأكثر من ٢٥ مل (سم^{3}) منه لمعاملة حمولة شاحنة كاملة، وهو لا يترك أى أثر متبق.

تجرى المعاملة فى حرارة ٢٠ ْم باستعمال أبخرة المركب، ولهذا السبب فإنها ربما لا تكون مجدية مع محصول التصدير الذى يتعين تبريده أوليًا فى خلال ساعة واحدة من حصاده، بينما تتطلب المعاملة بالمركب ساعتين على الأقل.

وقد درس Perez وآخرون (١٩٩٧) تأثير المثيل جاسمونيت على نضج ثمار الفراولة المقطوفة وذلك بحصادها وهي خضراء غير مكتملة النمو. وزراعتها في بيئة تحتوى على ٨٨ مللي مول سكروز في إضاءة مقدارها ٣٠٠ ميكرومول لكل م٢ في الثانية. لمدة ١٦ ساعة يوميًا. مع حرارة مقدارها ٢٥°م نهارًا. و ١٥°م ليلاً. ورطوبة نسبية ٨٥٪. مع إضافة المثيل جاسمونيت إلى البيئة بتركيز ٥٠ ميكرومولاً. وقد وجدوا أن إضافة المثيل جاسمونيت أحدثت زيادة معنوية في كل من معدل التنفس وإنتاج الإثيلين بكل من الثمار البيضاء والوردية. كما ازداد نمو الثمار المعاملة بالمثيل جاسمونيت بمقدار ٥٥٪. مقارنة بزيادة مقدارها ٣٣٪ فقط في ثمار الكنترول. وأدت المعاملة كذلك إلى إحداث تأثيرات معنوية في تلوين الثمار. حيث حفزت تمثيل الأنثوسيانين في خلال يومين من المعاملة. مع زيادتها لمعدل تحلل كلوروفيل أ. وكلوروفيل ب. وبدرجة أقل البيتاكاروتين والزانثوفيلات xanthophylls.

كما أدت معاملة ثمار الطماطم بأبخرة المثيل جاسمونيت إلى تثبيط إنتاج الجراثيم وإنباتها في الفطر المسبب للأنثراكنوز *Colletotrichum coccodes* على الرغم من عدم تأثير تلك الأبخرة على إنبات جراثيم الفطر وتكوين مستعمراته في البيئات الصناعية. بما يعني أن المثيل جاسمونيت يؤثر على الفطر في الثمار من خلال دور له في التفاعلات بين الثمار والفطر الممرض (Tzortzakis ٢٠٠٧).

مركبات عطرية طبيعية أخرى تنتجها الثمار

تتميز المركبات الطبيعية المسئولة عن النكهة المميزة لعديد من النباتات بخصائص تجعلها مناسبة لاستعمالها في معاملات بعد الحصاد للمحاصيل البستانية، ومن أهم تلك الخصائص أنها متطايرة volatile. وقليلة الذوبان في الماء، وسهلة الإدمصاص. وقليلة أو عديمة السمية نظرًا لكونها مركبات طبيعية، وتعطى تأثيرها عند تركيزات شديدة الانخفاض.

ولقد وجد – على سبيل المثال – أن عددًا من المركبات المتطايرة التي تنتجها ثمار

الخوخ أثناء نضجها تعد شديدة السمية للفطريات. كما وجد أن مقاومة الفراولة للإصابة بالأعفان عند تخزينها فى تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون مردها إلى إنتاج الثمار لتركزيات عالية من الأسيتالدهيد وخلات الإثيل ethyl acetate تحت تلك الظروف. ولقد تبينت فاعلية الأسيتالدهيد فى مكافحة عديد من الكائنات الدقيقة — الفطرية والبكتيرية — المسببة للأعفان.

ومن المواد الأخرى القابلة للتطاير المسئولة عن النكهة والتى أظهرت قدرة على الحد من الإصابة بالأعفان غير الأسيتالدهيد ما يلى:

benzaldehyde	cinnamaldehyde	ethanol
benzyl alcohol	nerolidol	2-nonanone
(E)-2-Hexanal	Hexenel	(C_6)aldehydes

(Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

وقد وجد أنه يفيد تبخير ثمار الفراولة ببعض الغازات والمركبات العطرية القابلة للتطاير والتى تنتجها ثمار الفراولة بصورة طبيعية .. يفيد استعمالها فى تثبيط نمو الكائنات المسببة للأعفان. ولكن يتعين تحديد التركيز الذى يحقق الهدف دون التأثير على طعم الثمار أو نكهتها. ودون ترك أى متبقيات غير مرغوب فيها على المنتج الطازج. فمثلاً .. وجد أن المعاملة بغاز الأسيتالدهيد acetaldehyde بتركيز ١٥٠٠ جزء فى المليون لمدة ٤ ساعات أدى إلى خفض الإصابة بالعفن الرمادى بنسبته ٢٠٪ مع تحسين طعم الثمار ونكهتها كذلك. هذا .. إلا أن الأسيتالدهيد يمكن أن يقلل من حموضة الثمار ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة. وإلى زيادة محتواها من الكحول الإثيلى. والإثيل أسيتيت ethyl acetate. والإثيل بيوتريت ethyl butyrate. كذلك يمكن للمركبين الطبيعيين اللذان تنتجهما ثمار الفراولة، وهما: benzylaldehyde. و 2-nonanone .. يمكنهما تثبيط نمو الفطر *B. cinerea* دون إحداث تأثير سلبى على طعم الثمار أو نكهتها (عن Perkins-Veazie & Collins ١٩٩٥).

كذلك أثبت المركب (E)-2-hexenal فاعلية فى مكافحة أعفان الثمار. وظهر – فى البيئات الصناعية – أن عملية إنبات جراثيم الفطر *B. cinerea* كانت أكثر حساسية للمركب عن عملية نمو الغزل الفطرى. وقد أدت التركيزات المنخفضة من المركب إلى تحفيز النمو الفطرى، وهو الأمر الذى حدث – كذلك – عند معاملة الثمار ذاتها؛ مما يعنى ضرورة زيادة تركيز المركب لكى يكون فعّالاً فى تثبيط أعفان الثمار بعد الحصاد (Fallik وآخرون ١٩٩٨).

كذلك أدت معاملة الفراولة بهذا المركب العطرى المتطاير (E)-2-hexenal إلى إحداث نقص جوهرى فى الإصابة بالعفن الرمادى عند إجراء المعاملة أثناء تخزين الثمار لمدة ٧ أيام على ٢ °م، ثم نقلها – بعد توقف المعاملة – إلى ٢٢ °م لمدة ٣ أيام. وذلك مقارنة بثمار معاملة الكنترول. وبالمقارنة فإن المعاملة بأى من المركبات العطرية (E)-2-hexenal diethyl acetal، أو benzaldehyde، أو methyl benzoate لم تكن مؤثرة (Ntirampemba وآخرون ١٩٩٨).

وعندما عرضت ثمار فراولة مصابة طبيعيًا بالفطر *B. cinerea* لأبخرة عديد من المركبات المتطايرة التى تتواجد طبيعيًّا فى الثمار، وجد أن الكثير من تلك المركبات، مثل: benzaldehyde، و methyl benzoate، و methyl salicylate، و 2-nonanone، و 2-hexenal diethyl acetal، و hexanol، و (E)-2-hexen-1-ol تثبط نمو الفطر عند تركيزات منخفضة تقدر بالجزء فى المليون. كذلك كان لبعض المركبات تأثيرات سلبية على جودة الثمار. وبينما كانت بعض المركبات فعّالة بعد فترة قصيرة من المعاملة بها، لزم استمرار المعاملة على الدوام بمركبات أخرى لكى تكون فعّالة (Archbold وآخرون ١٩٩٧).

الشيتوسان

إن الشيتوسان chitosan صورة ذائبة من الشيتين chitin. ويتميز الشيتوسان والمركبات التى تشتق منه بكونها قادرة على حماية النباتات من الإصابات الفطرية بما لها من قدرة على أن تكون مضادة لها. يمكن لتلك المركبات بتركيزات شديدة الانخفاض

أن تستحث آليات دفاعية فى النباتات ضد المسببات المرضية، ويمكن استعمالها على صورة محاليل، أو مساحيق، أو كأغلفة للبذور والثمار (Tipathi & Dubey ٢٠٠٤).

يعد الشيتوسان أحد المكونات الهامة للجدر الخلوية لبعض مسببات الأمراض الفطرية.

ويُستخلص الشيتوسان من محارات الأحياء البحرية، كما ينتج من الشيتين chitin الذى يتواجد بالهيكل الخارجى للحشرات، وهو مركب عديد التسكر ذات وزن جزيئى عال وقابل للذوبان فى الأحماض العضوية المخففة. هذا المركب غير سام وآمن بيولوجيًا. ويعد من أفضل المركبات التى يمكن استعمالها فى تغليف ثمار الخضر والفاكهة الطازجة لمنع فقدها للرطوبة وتحوير تركيب جوها الداخلى، فضلاً عما يحدثه المركب من حث لإنتاج إنزيم الشيتينيز chitinase الذى يعمل كإنزيم دفاعى.

ولقد وجد أن استعمال الشيتوسان بتركيز ١٪ أو ٢٪ (وزن/حجم) كغلاف لثمار الفراولة أدى إلى خفض أعفان الثمار جوهريًا عند تخزينها على ١٣°م، وأحدث زيادة جوهرية فى نشاط كل من الشيتينيز، و β-1,3-gluconase مقارنة بما حدث فى معاملة الكنترول. ولقد كان تأثير استعمال الشيتوسان فى مكافحة الأعفان التى يسببها الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Rhizopus* spp. مماثلاً – تقريبًا – لتأثير المعاملة بالمبيد الفطرى TBZ. وفضلاً عن ذلك كان للشيتوسان تأثيرات إيجابية على كل من صلابة الثمار، وحموضتها المعايرة، ومحتواها من حامض الأسكوربك والأنثوسيانين (Zhang & Quantick ١٩٩٨).

وإلى جانب تأثير الشيتوسان على إصابات الفراولة المرضية، فقد وجد أن له – كذلك – تأثير مضاد لعديد من الفطريات. كما اتضح من دراسات استعمل فيها المركب كغلاف لثمار الطماطم والفلفل الحلو والخيار (عن Reddy وآخرين ٢٠٠٠).

وقد أدت معاملة مكان اتصال عنق ثمرة الطماطم بالثمرة (مكان قطف الثمرة) بالشيتوسان chitosan إلى تثبيط إصابة الثمرة بالفطر *Alternaria alternata* مسبب

مرض العفن الأسود. وذلك عندما تم حقنها بالفطر وخزنت على ٢٠°م لمدة ٢٨ يومًا. وكان ذلك التأثير لمعاملة الشيتوسان مصاحبًا بضعف فى نشاط الإنزيمات المحللة للأنسجة (polygalacturonase، و cellulase، و pectic lyase) فى النسيج المجاور للبقع المرضية. حيث انخفض نشاطها إلى أقل من ٥٠٪ مما كان عليه الحال فى ثمار المقارنة التى لم تُعامل بالشيتوسان. كذلك ثبطت المعاملة بالشيتوسان إنتاج الثمار لكل من حامضى الأوكساليك والفيوماريك (oxalic & fumaric acids) وهما من المركبات المخلبية، وكذلك سموم العائل alternariol، و alternariol monomethylether، وحفزت إنتاج الفيتوألاكسين ريشتين rishitin فى أنسجة الثمرة (Reddy وآخرون ٢٠٠٠).

كما أدت معاملة الجزر المخزن بالـ chitosan hydrolysate (وهو الذى يحضر من الـ chitosan بفعل الإنزيم *Streptomyces* N-174 chitosanase) بتركيز ٠,٢٪ (وزن/حجم) إلى حماية جذور الجزر من الإصابة بالفطر *Sclerotinia sclerotiorum* أثناء التخزين، بحثها الجذور على تطوير مقاومة ضد الفطر (Molloy وآخرون ٢٠٠٤).

المعاملات الفيزيائية المثيرة للمقاومة الطبيعية

الصدمات الحرارية

تؤثر معاملة ثمار الحمضيات بالصدمة الحرارية بعد الحصاد فى إنتاج الكيومارينات coumarins المضادة للفطريات فى قشرتها. وفى الليمون الأضاليا أدت المعاملة الحرارية إلى إنتاج الـ scoparone بعد التعرض للإصابة بالفطر *Penicillium* sp.، وقد ارتبط هذا التراكم معنويًا بالمقاومة (Da Rocha & Hammerschmidt ٢٠٠٥).

الأشعة فوق البنفسجية

تجرى معاملة التعريض للأشعة فوق البنفسجية – أساسًا – لأجل مكافحة بعض الإصابات المرضية، من خلال حثها للمقاومة الطبيعية فى الأنسجة النباتية الحية.

أدى تعريض درنات البطاطس للأشعة فوق البنفسجية بجرعة ١٢.٥ أو ١٥ كيلوجول/م٢ (kJ/m²) إلى تثبيط إصابتها بكل من العفن الجاف الذى يسببه الفطر *Fusarium solani*، والعفن الطرى الذى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovora* بصورة تامة، وذلك عندما كان تخزين الدرنات فى حرارة ٨°م لمدة ٣ شهور، دون أى تأثير للمعاملة على التبرعم، أو على قوام الدرنات أو صلابتها أو لونها (Ranganna وآخرون ١٩٩٧).

كما أدت معاملة جذور البطاطا بالأشعة فوق البنفسجية UV-C بجرعة ٣.٦ كيلوجول/م٢ إلى الحد — بشدة — من إصابتها بالفطر *Fusarium solani* — المسبب لعفن الجذور الفيوزارى — أثناء التخزين، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نشاط الـ phenylalanine ammonia-lyase فى الجذور المعاملة (Stevens وآخرون ١٩٩٩).

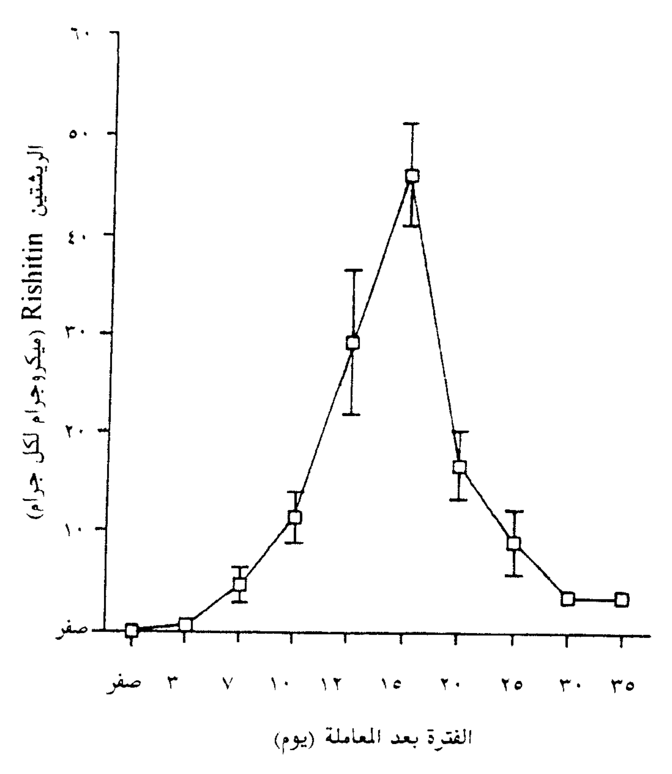
كذلك أدى تعريض الأسبرجس للأشعة فوق البنفسجية UV-C بطول موجى ٢٥٤ نانوميتر بجرعة قدرها أكثر من ٠.٠١ جول/سم٢ إلى نقص جوهرى فى معدل إصابة المهاميز بالفطر *Botrytis cinerea* تحت ظروف العدوى الصناعية به (Marquenie وآخرون ٢٠٠٢).

ويؤدى تعريض ثمار الطماطم للأشعة فوق البنفسجية أثناء تخزينها إلى تراكم الفيتوألاكسين phytoalexin، ريشتين rishitin بها (شكل ٩-٣)، وهو الذى يلعب دورًا فى مقاومة بعض الإصابات المرضية (عن Arul وآخرين ٢٠٠١).

وأدت معاملة ثمار الفلفل الحلو والطماطم بتقنية (تسمى SYNERGOLUX) تستخدم فيها الأشعة فوق البنفسجية والأوزون إلى تقليل إصابتها بالأعفان، علمًا بأن المعاملة تراوحت بين ١٥، و ٦٠ ثانية. وقد خفضت المعاملة من نشاط الإنزيم pectinesterase فى ثمار الطماطم مقارنة بما حدث فى ثمار الكنترول (Mednyánszky وآخرون ١٩٩٤).

أدى تعريض ثمار الفلفل للأشعة فوق البنفسجية UV-C بأى جرعة (من ٠.٢٢ إلى

٢.٢٠ كيلوجول/م٢ (kJm^{-2}) إلى حث تكوين مقاومة جهازية بالثمار أمكن معها مقاومة الإصابة بالبوتريتس (*Botrytis cinerea*) فى الثمار المخزنة على ١٣ أو ٢٠°م (Mercier وآخرون ٢٠٠١).



شكل (٩-٣): تراكم الريشتين **rishitin** بثمار الطماطم استجابة لتعريضها للأشعة فوق البنفسجية أثناء التخزين.

وأدت المعاملة بالـ UV-C إلى حث المقاومة ضد الإصابات المرضية فى أبصال البصل وجذور الجزر وثمار الفلفل والطماطم (Da Rocha & Hammerschmidt ٢٠٠٥).

ويظهر فى جداول (٩-٧) بيانًا بعديد من الأمثلة لاستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV-C فى مكافحة أمراض المخازن فى المحاصيل البستانية.

جدول (٩-٧): أمثلة للمعاملة بالأشعة فوق البنفسجية UV-C لأجل مكافحة أمــراض المخازن فى المحاصيل البستانية (عن Terry & Joyce ٢٠٠٤).

المحصول والصنف		جرعة الـ UV-C المثلى (kJ m⁻²)	المسبب المرضى المستهدف
الكيوى	*A. deliciosa* (kiwifruit) cv. Hayward	٠,٥	*B. cinerea*
البصل	*Allium cepa* (onion) cv. Walla Walla	٧,٣٣-٣,٥٨	لم يحدد
الفلفل الحلو	*Capsicum annuum* (bell pepper) cvs. Bell Boy and Delphin	٠,٨٨	*B. cinerea*
الليمون البنزهير	*Cirus aurantifolia* (lime) cv. Tahiti	٥,٠	*P. digitatum*
البرتقال	*Cirus cinensis* (orange) cvs. Biondo Comune and Washington Navel	٠,٥-٠,٣	لم يحدد
البرتقال	cvs. Tarocco and Valencia Late	١,٥-٠,٥	لم يحدد
البرتقال	cvs. Shamouti and Valencia	٥,٠	*P. digitatum*
الليمون الأضاليا	*Cirus limon* (lemon) cv. Eureka	٥,٠	*P. digitatum*
الجريب فروت	*C. paradise* (grapefruit) cv. Marsh Seedless	٥,٠	*P. digitatum*
		٨,٠-١,٦	*P. digitatum*
		٢,٢	*P. digitatum*
الجريب فروت	cv. Star Ruby	٠,٥	*P. digitatum*
التانجرين	*Citrus reticulata* (tangerine) cv. Dancy	٠,٨٤	*Alternaria citri*
		٣,٦	*Geotrichum candidum*
		١,٣	*P. digitatum*
الكوسة	*Cucurbita pepo* (zucchini squash) cv. Tigress	٩,٨٦-٤,٩٣	لم يحدد
الجزر	*Daucus carota* (carrot) cv. Caropak	٨,٨-٤,٤	*B. cinerea*
البطاطا	*Ipomea batatas* (sweet potato) cv. Jewel and Carver	٤,٨	*Fusarium* spp. and *Rhizopus* spp

تابع جدول (٩-٧).

المسبب المرضي المستهدف	جرعة الـ UV-C المثلى (kJ m^{-2})	المحصول والصنف	
Rhizopus spp.	٣.٦	cv. Georgia Jet	البطاطا
Fusarium solani	٣.٦	cv. Jewel	البطاطا
P. digitatum	٥.٠	*Fortunella margarita* (kumquat) cv. Nagami	الكمكوات
P. digitatum	١.٥		
B. cinerea	١.٠-٠.٥	*F. ananassa* (strawberry) cv. Pajaro	الفراولة
B. cinerea	٠.٢٥	cv. Kent	الفراولة
B. cinerea	١٥.٠-٠.٥	cv. Elsanta	الفراولة
Alternaria alternata	٧.٥	*Solanum lycopersicum* (tomato)	الطماطم
B. cinerea and *Erwinia* spp.	٧.٥	cv. Tuskegee 80-130	
Rhizopus stolonifer	٣.٦		
B. cinerea	٣.٧		
Alternaria sp. And *Monilinia* sp.	٧.٥	*Malus domestica* (apple) cv. Golden Delicious	التفاح
Alternaria sp. And *Monilinia* sp.	٤.٨		
C. gloeosporioides	٧.٥		
B. cinerea and *P. digitatum*	١.٣٨	cv. Empire	التفاح
لم يحدد	لم تحدد	*M. indica* (mango) cv. Tommy atkins	المانجو
Monilinia fructicola	٢٠	*Prunus persica* (peach) cv. Loring	الخوخ
Monilinia fructicola	٢٠-٤.٨	cv. Elberta	الخوخ
Monilinia fructicola	٧.٥-٤.٨	cv. Loring and Elberta	الخوخ
B. cinerea	٧.٦	cv. Loring	الخوخ
B. cinerea	٠.٥-٠.١٢٥	*Vitis vinifera* (table grape) cv. Italia	عنب المائدة

المكافحة الحيوية للأمراض أثناء التخزين

مكافحة الأمراض الفطرية بالبكتيريا

أمكن مكافحة الفطر *Botrytis cinerea* مسبب مرض العفن الرمادى بمعاملة ثمار الطماطم — بعد الحصاد — بالبكتيريا *Bacillus amyloliquefaciens* (Mari وآخرون ١٩٩٦).

وأعطت معاملة درنات البطاطس بالبكتيريا *Entrobacter cloacae* (السلالة S11:T:07) عند تخزينها نقصًا قدره ٢١٪ فى إصابتها بالعفن الجاف الفيوزارى. مقارنة بنقص قدره ١٤٪ فقط عندما عوملت الدرنات بالمبيد الفطرى thiabendazole (Schisler وآخرون ٢٠٠٠).

كما أدى رش درنات البطاطس — أثناء مرورها على السيور قبل تخزينها — بمعلق للسلالة S11:T:07 من البكتيريا *Entrobacter cloacae* إلى إحداث مقاومة للفطر *Fusarium sambucinum* مسبب مرض العفن الجاف الفيوزارى بدرجة تزيد بمقدار ٥٠٪ عن تلك التى يحققها استعمال المبيد الوحيد المصرح به للاستعمال مع البطاطس المخصصة للاستهلاك الآدمى، وهو thiabendazole (عن وزارة الزراعة الأمريكية — الإنترنت — ٢٠٠٧).

وكانت لمعاملة ثمار الطماطم بأى من عدد من الأنواع البكتيرية المتوسطة القدرة على تحمل الملوحة قدرة عالية على خفض الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* مسبب مرض العفن الرمادى. ومن بين الأنواع البكتيرية التى تم اختبارها وأعطت نتائج جيدة، ما يلى (Sadfi-Zouaoui وآخرون ٢٠٠٨):

Bacillus spp. (*subtilis* or *licheniformis*)
Planococcus rifietoensis
Halomonas subglaciescola
Halobacillus lutorglis
Marinococcus litoralis
Salinococcous roseus
Halovibrio variabilis

Halobacillus halophilus

Halobacillus trueperi

مكافحة الأمراض الفطرية بالخميرة

أدى رش نباتات الفراولة أثناء إزهارها بالخميرة *Cryptococcus albidus* (وهى التى كانت قد عُزلت – أصلاً – من ثمار فراولة ناضجة) إلى خفض معدل إصابة الثمار الناضجة بالفطر *Botrytis cinerea* – مسبب مرض العفن الرمادى بنسبة تراوحت بين ٢١٪، و ٣٣٪ (Helbig ٢٠٠٢).

كما أدت المعاملة المختلطة بكل من الخميرة *Candida utilis* والشيتوسان chitosan إلى مكافحة عفن ثمار الطماطم الذى يسببه الفطرين *Alternaria alternata*، و *Geotrichum candidum* (Neeta وآخرون ٢٠٠٦).

وأدت معاملة ثمار الطماطم بعد الحصاد بالخميرة *Pichia guilliermondii* إلى حمايتها من الإصابة بكل من الفطريات *Alternaria solani*، و *Rhizopus stolonifer*، و *Botrytis cinerea* دون التأثير على صفات جودة الثمار (Zhao وآخرون ٢٠٠٨).

وقد أظهرت الخميرة *P. guilliermondii* الحية (وليست مزارعها المقتولة بالأتوكليف أو راشح مزارعها) قدرة على الحد من إصابة ثمار الطماطم بالفطر *Rhizopus nigricans* أثناء التخزين إذا ما عوملت الثمار بالخميرة أولاً. هذا ولا تنتج الخميرة مركبات مضادة للفطر، وإنما هى تُعد منافسًا قويًّا له على كل من الغذاء والجروح التى ينفذ منها الفطر ليصيب الثمرة (Zhao وآخرون ٢٠٠٨).

هذا .. تؤدى الجروح – فى ثمار التفاح على سبيل المثال – إلى حث تكوين العناصر النشطة فى الأكسدة reactive oxygen species مثل فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2. وقد تبين أن الخمائر المستعملة فى مكافحة أمراض ما بعد الحصاد تقاوم تلك العناصر، وقد يكون ذلك هو الميكانيزم الذى تقوم عن طريقه بفعلها فى مكافحة بعض أمراض بعد الحصاد مثل البوتريتس (Castoria وآخرون ٢٠٠٣).

كما أدت المعاملة بالسيليكون فى صورة sodium metasilicate إلى زيادة كفاءة الخميرة *Cryptococcus laurentii* – بتركيز ١ × ١٠^٨ خلية/ملليلتر – فى مكافحة الفطرين *Penicillium expansum*، و *Monilinia fructicola* بثمار الكريز الحلو على ٢٠ °م. ويعتقد بأن مرد ذلك إلى أن معاملة السيليكون مع الخميرة تؤدى إلى زيادة أعداد الخميرة، بالإضافة إلى خاصية السمية المباشرة للسيليكون على المسببات المرضية، فضلا عن إحداث السيليكون لزيادة معنوية فى نشاط كل من الـ phenylalamine ammonialyase، والـ polyphenol oxidase والـ peroxidase بثمار الكريز (Qin & Tian ٢٠٠٥).

مكافحة الأمراض الفطرية بالميكوريزا

أدى تلقيح درنات اليام الأبيض *Discorea roundata* بالجراثيم الكونيدية للميكوريزا *Trichoderma viride* قبل تخزينها لمدة أربعة شهور فى الجو العادى إلى خفض إصابتها بشدة بالفطريات المسببة للأعفان أثناء التخزين، مثل: *Aspergillus niger*، و *Botryodiplodia theobromae*، و *Penicillum oxalicum* (Okigbo & Ikediugwu ٢٠٠٠).

المعاملة بالمبيدات الفطرية والمطهرات للتخلص من مسببات الأمراض والوقاية منها

يستخدم للوقاية من الكائنات الدقيقة المسببة للعفن عدد من المركبات التى لا تترك أثرًا ضارًا على الخضر المخزنة، أو على الإنسان. وتستخدم هذه المواد فى صورة محاليل مائية ترش بها الخضر، أو تغمس فيها، أو تشبع بها الأوراق التى تلف فيها الثمار، أو تبطن بها صناديق التعبئة.

ومن أهم المركبات التى تستخدم لهذا الغرض ما يلى:

١- البوراكس، أو حامض البوريك، أو مخلوط منهما.

٢- هيبوكلوريت الصوديوم sodium hypochlorite – وهو يستخدم بكثرة – وهيبوكلوريت الكالسيوم.

٣– التدخين بمادة ثلاثى كلوريد النيتروجين nitrogen trichloride.

٤– المبيدات الفطرية، مثل: البنليت Benlate، والكابتان Captan، والثيرام Thiram، والبوترام، و OPP، و SOPP.

٥– غاز ثانى أكسيد الكبريت sulfur dioxide.

كما يستعمل – فى تطهير الأجهزة المستخدمة فى التداول، والعبوات، والمخازن – عديد من المركبات التى سبق بيانها، ومركبات أخرى؛ مثل: الفورمالدهيد، و zinc petroleum sulfonate (جدول ٩–٨).

جدول (٩–٨): قائمة ببعض المعاملات التى تفيد فى حماية الخضر من الإصابة بالأعفان فى المخازن (عن Ogawa & Manji ١٩٨٤).

المركب ومحصول الخضر	الكائن الذى تجرى المعاملة لأجل مكافحته	طريقة المعاملة	التركيز المناسب (جزء فى المليون)	التركيز المتبقى المسموح به (جزء فى المليون)
هيبوكلوريت الكالسيوم Calcium Hypochlorite				
مختلف الخضروات	البكتيريا	الغسل دقيقتين ثم الشطف	٢٥ كلورين	حتى ٢٠ كلورين
الكابتان **Captan**:				
القاوون والخيار والبطاطس	مسببات العفن	الغمس أو الرش	١٥٠٠	٢٥
البصل	أعفان المخازن	الغمس أو الرش	١٥٠٠	٥٠ (بصل أخضر)
البطاطس	أعفان المخازن	الغمس	١٥٠٠	٢٥
صناديق التعبئة	الكائنات المسببة للعفن: *Rhizopus* *Botrytis* *Colletotrichum*			

تابع جدول (٩-٨).

المركب ومحصول الخضر	الكائن الذى تجرى المعاملة لأجل مكافحته	طريقة المعاملة	التركيز المناسب (جزء فى المليون)	التركيز المتبقى المسموح به (جزء فى المليون)
دى هيدروخلات الصوديوم **Sodium dehydroacetate (DHAS)**:				
الفراولة	الكائنات المسببة للعفن: *Asperigllus* *Botrytis* *Penicillium* *Rhizopus*	الغمس لمدة ٣٠ ثانية	٤٠٠٠	٦٥
الكوسة	أعفان المخازن	الغمس	٢٠٠٠	٦٥
البوتران Botran (DCNA):				
الجزر	*Sclerotinia*	الغمس لمدة ١٠ ثوان	٩٠٠	١٠
البطاطا	*Rhizopus*	الرش أو الغمس	٩٠٠	١٠
الفورمالدهيد:				
أجهزة تداول البطاطس	البكتيريا والفطريات	سائلة	لتر/٦٠ لتر محلول	
المخازن	البكتيريا والفطريات	تبخير	لتر + ٥٠٠ جم برمنجنات البوتاسيوم/٢٧م^{3} لمدة ٥ ساعات ثم التهوية	
أورثوفينيل فينول **Orthophenylphenol (OPP)**:				
الجزر	الفطريات	تجارية	٥٠٠٠	٢٠
الخيار والفلفل	الفطريات	تجارية	١٠٠٠٠-٢٥٠٠٠	١٠

تابع جدول (٩–٨).

المركب ومحصول الخضر	الكائن الذى تجرى المعاملة لأجل مكافحته	طريقة المعاملة	التركيز المناسب (جزء فى المليون)	التركيز المتبقى المسموح به (جزء فى المليون)
الطماطم	الفطريات	تجارية	٢٠٠٠٠–٢٥٠٠٠	١٠
صوديوم ثانى ميثيل الداى ثيوكاربأميت Sodium dimethldithyocarbamate:				
القاوون	مسببات العفن			٢٥
هيبوكلوريت الصوديوم Sodium hypochlorite:				
الخضروات الطازجة	البكتيريا والفطريات والخمائر	الغمس ثم الشطف	٥٠–٧٠ كلورين	—
مركب Sodium O-phenylphenate (SOPP):				
القاوون	البكتيريا والفطريات	الغمس أو الرش ثم الشطف	٠,٥–٢,١٥٪	١٢٥ (١٠ فى الجزء المأكول)
الجزر	الفطريات	الغمس أو الرش بدون شطف	٠,٥–١,٠٪	—
الخيار والفلفل	البكتيريا والفطريات	الغمس أو الرش ثم الشطف	٠,٥–١,٠٪	١٠
البطاطا	العفن الأسود عفن بوتريتس الطرى	الغمس أو الرش	٠,٤–١,١٪	١٥
الطماطم	البكتيريا والفطريات	الغمس أو الرش ثم الشطف	٠,٤٥٪ لمدة دقيقتين	١٠
			١٪ لمدة ٢٠–٣٠ ثانية	١٠
معدات التعبئة	البكتيريا والفطريات	الغمس أو الرش أو التفريش	٠,١–٠,٣٪	—
مركب Zine petroleum sulfonate:				
العبوات	الأعفان	الغمس أو التفريش	—	—

ويظهر فى جدول (٩-٩) بيانًا بعديد من المركبات الكيميائية التى استخدمت كمبيدات فطرية بعد الحصاد مع الحاصلات البستانية (عن Wills وآخرين ١٩٩٨).

جدول (٩-٩): أمثلة لمركبات كيميائية استخدمت كمبيدات فطرية بعد الحصاد مع الحاصلات البستانية

المركب	المسبب المرضى المستهدف	المحصول
Allealine inorganic salts		
sodium tetraborate	*Penicillium*	الموالح
sodium carbonate	*Penicillium*	الموالح
sodium hydroxide	*Penicillium*	الموالح
Ammonia and aliphatic amines		
ammonia gas	*Diplodia*, *Penicillium*, *Rhizopus*	الموالح
sec-butylamine	أعفان طرف العنق *Penicillium*	الموالح
Aromatic amines		
dicloran	*Rhizopus*, *Botrytis*	الفاكهة ذات النواة الحجرية، والجزر والبطاطا
Benzimidazoles		
benomyl, thiabendazole, thiophanate methyl	*Penicillium*	الموالح
carbendazim	*Colletotrichum*	الموز والتفاح والكمثرى والأناناس والفاكهة ذات النواة الحجرية
Triazoles		
imazalil	أعفان طرف العنق *Penicillium*	الموالح
Prochloraz, guanidine	*Penicillium*	الموالح
guazitine	*Penicillium*, *Geotrichum*	الموالح
Hydrocarbons and derivatives		

تابع جدول (٩-٩).

المركب	المسبب المرضى المستهدف	المحصول
biphenyl	*Penicillium, Diplodia*	الموالح
methyl chloroform	أعفان طرف العنق *Penicillium*	الموالح
Oxidising substances		
hypochlorous acid	البكتيريا والفطريات في ماء الغسيل	حاصلات عديدة
iodine	البكتيريا والفطريات	الموالح والعنب
nitrogen trichloride	*Penicillium*	الطماطم والموالح
Organic acids and aldehydes		
dehydroacetic acid	*Botrytis*	الفراولة
sorbic acid	*Alternaria, Cladosporium*	التين
formaldehyde	الفطريات	
Phenols		
o-phenylphenol (HOPP)	*Penicillium*	الموالح
sodium o-phenylphenate (SOPP)	البكتيريا والفطريات *Penicillium*	حاصلات عديدة
Salicylanilide	*Phomopsis, Penicillium, Nigrospora*	الموالح والموز
Sulphur (inorganic)		
	Monilinia	الخوخ
sulphur dust		
lime-sulphur	*Sclerotinia*	
sulphur dioxide gas, bisulphate	*Botrytis*	العنب
Sulphur (organic)		
captan	أعفان المخازن	حاصلات عديدة
thiram	أعفان طرف العنق *Cladosporium*	الفراولة والموز
ziram	أعفان طرف العنق *Alternaria*	الموز
thiourea	جراثيم الـ *Penicillium*	
thioacetamide	*Diplodia*	الموالح

هذا .. ويعد المبيد الفطرى imazalil من أكثر المبيدات استخداما بعد الحصاد. وهو يستعمل – عادة – بإضافته إلى الشموع التى تعامل بها الثمار التى يتم تشميعها بالرش بتلك الشموع أثناء سير الثمار على فُرَش دوارة. هذا إلاّ أن مكافحة الأعفان تكون أفضل إذا ما عوملت الثمار بالمبيد فى الماء عنه فى الشمع. ويرجع ذلك إلى أن جزءًا كبيرًا من المبيد يفقد قدرته على الحركة والتأثير فى فطريات الأعفان وهو فى الشمع. ذلك لأن الشموع هى بطبيعتها أكثر لزوجة من الماء، كما أنها تكون أقل قدرة من الماء على اختراق الجروح الدقيقة التى تشكل منافذ للإصابة بالفطر *Penicillium digitatum* المسبب للعفن الأخضر فى قشرة الموالح على سبيل المثال.

ولزيادة كفاءة المبيد تغمر الثمار فى ماء مدفأ يحتوى على المبيد. حيث تتبقى كمية أكبر من المبيد على سطح الثمرة عما فى حالة رشه عليها. وتساعد تدفئة الماء على سرعة تراكم المبيد بالثمرة، بما يفيد فى منع تجرثم الفطر *P. digitatum* على ثمار الموالح. وقد كانت المعاملة المناسبة هى بتركيز ٥٠٠ ميكروجرام من الـ imazalil لكل ملليلتر واحد من الماء (٥٠٠ جزء فى المليون) على حرارة ٣٧٫٨°م مع غمس الثمار فى محلول المبيد لمدة ٣٠–٦٠ ثانية (Smilanick وآخرون ١٩٩٧).

معاملات التبخير لأجل التخلص من الحشرات الحية

تعد معاملات الحجر الزراعى ضرورية عند تصدير كثير من الخضر والفاكهة. ولقد كان التبخير بثانى بروميد الإثيلين وبروميد المثيل هما أكثر المعاملات شيوعًا لأجل التطهير – بعد الحصاد – من الإصابات الحشرية. هذا .. إلا أن تلك المركبات تعد شديدة السمية للإنسان وتشكل خطورة على العاملين. كما أن لهما أضرارهما المعروفة على البيئة. ولقد استبعد استخدام ثانى بروميد الإثيلين منذ عام ١٩٨٤ وأصبح استخدام بروميد المثيل فى هذا المجال مقيدًا بشدة. ولذا .. كان الاتجاه نحو اتباع وسائل أخرى للتخلص من التلوث الحشرى فى الخضر والفاكهة المصدرة (عن Ke & Kader ١٩٩٢).

وعلى الرغم من ذلك فإن التبخير ببروميد المثايل مسموح به فى إجراءات الحجر

الزراعى. وتوجد قواعد تطبق فى هذا الشأن مع ٧٨ من محاصيل الخضر والفاكهة (Julian وآخرون ١٩٩٨).

أمراض المخازن البكتيرية ومكافحتها

تعد الإصابات البكتيرية من أهم أمراض المخازن؛ ولذا .. نولى وسائل مكافحتها اهتمامًا خاصًا.

الإصابات البكتيرية التى تستمر من الحقل فى المخازن

تستمر كثير من الإصابات البكتيرية فى المخازن، وتؤثر على جودة ونوعية الخضر المخزنة، بعد أن تكون قد بدأت فى الحقل. ومن أهم الأنواع البكتيرية المسببة لتلك الإصابات ما يلى:

البكتيريا	المحصول
Clavibacter michiganensis subsp. *michiganensis*	الطماطم
C. michiganensis subsp. *sepdonicus*	البطاطس
Pseudomonas solanacearum	البطاطس
P. syringae pv. *apii*	الكرفس
P. syringae pv. *lachrymans*	الخيار، وشهد العسل
P. syringae pv. *maculicola*	القنبيط
P. syringae pv. *phaseolicola*	الفاصوليا
P. syringae pv. *pisi*	البسلة
P. syringae pv. *syringae*	الفاصوليا
P. syringae pv. *tomato*	الطماطم
Streptomyces scabies	البطاطس والبنجر
Xanthomonas campestris pv. *campestris*	الكرنب والقنبيط
X. campestris pv. *phaseoli*	الفاصوليا
X. campestris pv. *vesicatoria*	الطماطم، والفلفل، والفجل

مقارنة بين الظروف المناسبة لكل من الإصابات الفطرية والبكتيرية

تتعرض الثمار ومختلف الخضر غير الثمرية للإصابات الفطرية والبكتيرية بعد الحصاد. إلاّ أن الثمار تكون أكثر تعرضًا للإصابات الفطرية عن تعرضها للإصابات البكتيرية؛ ذلك لأن الثمار تكون حامضية، مما يجعلها أكثر مقاومة للبكتيريا. هذا إلا إنه مع نضج الثمار فإنها تصبح أكثر عرضة للإصابة بجميع الكائنات المرضة لأنها تصبح أقل حامضية وأكثر طراوة، وتزداد فيها نسبة السكريات، وتضعف فيها الحواجز الدفاعية الطبيعية. وبالمقارنة فإن الخضر غير الثمرية تكون قريبة من التعادل وقابلة للإصابة بكل من المسببات المرضية الفطرية والبكتيرية.

ويمكن أن تؤثر حرارة التخزين على الأمراض التي يُصاب بها المنتج. ففي البطاطس — على سبيل المثال — يمكن للفطريات التي تحدث عفنًا جافًا أن تنمو سريعًا على حرارة ١٥–٢٥°م، بينما لا تنمو البكتيريا المسببة للعفن الطرى إلا على حرارة تزيد عن ٢٥°م (Jobling ٢٠٠٧ب).

الأنواع البكتيرية المسببة للأعفان الطرية

تعد الأعفان الطرية من أهم الأمراض البكتيرية في مصر وأكثرها انتشارًا. ويبين جدول (٩–١٠) قائمة بأهم هذه الأنواع — على المستوى العالمي — والأنواع المحصولية التي تصاب بها، والمجال الحرارى لانتشارها.

طرق مكافحة أمراض المخازن البكتيرية

إن من أهم وسائل مكافحة أمراض المخازن البكتيرية ما يلي:

١– إجراء عملية العلاج أو المعالجة Curing بصورة جيدة عند الحصاد، بهدف العمل على التئام الجروح التي تشكل منافذ جيدة للإصابات البكتيرية، كما في البطاطس، والبطاطا، والبصل.

جدول (٩–١٠): أهم الأنواع البكتيرية المسببة للأعفان الطرية، والمحاصيل التى تصيبها، والمجال الحرارى المناسب لنموها (عن Lund ١٩٨٣).

البكتيريا	المحاصيل التى تصاب بها	درجات الحرارة لنموها (م)		
		الدنيا	المثلى	العظمى
Erwinia carotovora subsp. *atroseptica*	معظم الخضروات. وخاصة البطاطس	٣	٢٧	٣٥
E. carotovora subsp. *carotovora*	معظم الخضروات	٦	٢٨–٣٠	٣٧–٤٢
E. chrysnthemi	البطاطس	٦	٣٤–٣٧	< ٤٥
Pseudomonas marginalis	معظم الخضروات	< ٠,٢	٢٥–٣٠	< ٤١
P. viridiflava	الفاصوليا	—	—	—
P. chichorii	الشيكوريا. والهندباء، والكرنب، والخس	—	حوالى ٣٠	< ٤١
P. cepaci	البصل	< ٤	٣٠–٣٥	٤٠–٤١
P. gladioli pv. *allicola*	البصل	< ٤	٣٠–٣٥	٤٠–٤١
Bacillus polymyxa	البطاطس والفلفل	٥–١٠	—	٣٥–٤٠
B. subtilis	البطاطس والطماطم	٥–٢٠	—	٤٥–٥٥
Clostridium puniceum	البطاطس	٧	—	٣٩

٢– إجراء الحصاد فى مرحلة النضج المناسبة لذلك، مع تعريض المحصول لأقل قدر من التجريح.

٣– عدم تلويث المحصول بقدر كبير من التربة وبقايا النموات النباتية التى يمكن أن تشكل مصدرًا خطيرًا للإصابات المرضية فى المخازن.

٤– تبريد المحصول سريعًا واتباع أساليب التخزين المناسبة لتجنب انتشار أمراض المخازن.

٥– معاملة المحصول بمحاليل لمركبات كيميائية مؤثرة على البكتيريا بعد الحصاد: لم تُجْدِ هذه الوسيلة كثيرًا فى مكافحة أمراض المخازن البكتيرية. وحتى فى الحالات

التى أمكن إحراز نجاح فيها فإن أخطار الأعفان – التى يمكن أن تنتشر بسبب الماء الذى يتبقى على المنتج بعد المعاملة بالكيماويات – تفوق عملية المكافحة الأولية ذاتها.

ويعد استعمال الكلور فى الماء الذى تشطف فيه الخضروات أنجح المعاملات الكيميائية حتى الآن. ويضاف الكلور إلى ماء الشطف إما فى صورة غازية، وإما فى صورة أحد أملاح الهيبوكلوريت. ويعتبر تركيز ١٠ أجزاء فى المليون فى الماء – عند درجة التعادل (pH = ٧) لدقائق قليلة – كافيًا لقتل الخلايا البكتيريا غير المتجرثمة. ولكن – مع تواجد التربة وبقايا النموات النباتية مع المحصول – يلزم زيادة تركيز الكلور فى محلول الشطف إلى ٥٠ جزءًا – ١٠٠ جزء فى المليون لكى يكون فعّالا. وتجدر الإشارة إلى أن معاملة الكلور هى للتطهير السطحى فقط للمنتج. ولا يمكنها القضاء على ما قد يوجد بداخله من إصابات بكتيرية.

٦– المعاملة بالمضادات الحيوية:

تعد المضادات الحيوية من أنجح المركبات التى تقضى على الإصابات البكتيرية ومن أمثلة هذه المضادات الحيوية ما يلى:

Oxytetracycline	Streptomycin
Neomycin	Polymyxin

وبالرغم من الفاعلية الفائقة للمضادات الحيوية فى مكافحة أمراض المخازن البكتيرية فى محاصيل الخضر، إلا أن معظم الدول تُحَرِّم استعمالها عندما يكون الجزء المأكول من النبات هو الجزء المعامل، لكى لا يتناول الإنسان كميات كبيرة من المضادات الحيوية مع طعامه، والتى يمكن أن تؤدى إلى مخاطر صحية كبيرة.

ولهذا السبب .. فإن المضادات الحيوية الهامة طبيًا لا يجوز استخدامها فى معاملة الخضروات المعدة للاستهلاك (عن Lund ١٩٨٣).

الفصل العاشر

طرق التخزين والمخازن المبردة

أهمية تخزين الحاصلات البستانية

إن أهم مزايا تخزين الحاصلات البستانية، ما يلى:

١- توفير المنتجات للمستهلك لأطول فترة ممكنة.

٢- زيادة استهلاك المنتجات نتيجة إطالة موسم عرضها بالأسواق.

٣- زيادة سعر البيع بالنسبة للمنتج بصورة عامة؛ بسبب عدم تكدس المحصول وقت الحصاد؛ وبذلك يمكن تجنب الانخفاض الحاد فى الأسعار.

٤- تسهيل عمليات النقل والشحن.

٥- المساعدة على تصدير المنتجات السريعة التلف.

ويتوقف قرار التخزين من عدمه على عدة عوامل، منها:

١- السعر الحالى والسعر المرتقب بعد انتهاء فترة التخزين.

٢- تكاليف التخزين.

٣- الفقد فى المحصول نتيجة الذبول وفقد الرطوبة والإصابات المرضية أثناء التخزين.

٤- تكاليف إعادة الفرز والتعبئة بعد التخزين.

طرق التخزين

إن من أهم الطرق المتبعة فى تخزين الحاصلات البستانية، ما يلى:

١- التخزين على النباتات، كما فى أصناف طماطم التصنيع والبرتقال.

٢- التخزين فى الحقل:

أ- التخزين فى التربة فى المناطق الجافة، كما فى البطاطا، والقلقاس، والطرطوفة.

ب- التخزين فى حفر أو خنادق فى تربة جافة، كما فى البطاطا، والقلقاس، والجزر، والبنجر بدون أوراق.

٣- التخزين فى أبنية خاصة:

أ- التخزين فى حجرات تحت سطح التربة.

ب- التخزين فى حجرات فوق سطح التربة.

جـ- التخزين تحت جمالونات، كما فى البطاطس والبصل.

د- التخزين فى عنابر.

٤- التخزين البارد:

أ- فى الجو الطبيعى، مثل حجرات التبريد، وعربات النقل المبردة، والثلاجات المنزلية.

ب- فى الجو المعدل والمتحكم فيه.

التخزين فى الحقل

يمكن تخزين بعض المنتجات كالكرنب، ومعظم الخضر الجذرية – فى الحقل فى خنادق، أو فى حفر خاصة، أو تحت كومة من الأتربة. ويشترط لنجاح هذه الطريقة أن يكون المكان جافًا وجيد الصرف. يتم التخزين بوضع الخضروات فى كومات تحاط بالقش، ثم تغطى بغطاء من التربة يكفى لحمايتها من الحرارة الشديدة أو البرودة والتجمد. ويمكن توفير التهوية اللازمة بعمل فتحة خاصة تمتد عبر أنبوب من وسط الكومة إلى خارج الغطاء. ويتم إغلاق هذه الفتحة فى الجو القارس البرودة.

ويعيب مخازن الحقل عدم إمكانية التحكم فى درجة الحرارة أو الرطوبة النسبية بها، وتعرضها للإصابة بالقارضات، كما يكون من الصعب سحب الخضروات المخزنة فى الجو غير المناسب، فضلا على أنه يحتاج إلى أيد عاملة كثيرة.

التخزين فى الأبنية غير المبردة

تستعمل الأبنية غير المبردة بصفة خاصة فى تخزين الخضروات التى تحتاج إلى جو

جاف نسبيًا، كالبصل، والبطاطا. ويمكن التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة النسبية إلى حد ما بالتحكم فى التهوية.

وتُنشأ بعض هذه الأبنية تحت سطح التربة عندما تسمح حالة الصرف بذلك، وتسمى "Cellars". وتجب العناية بعملية التهوية فى هذه المنشآت؛ لأنها تكون – عادة – عالية الرطوبة النسبية، وتخزن فيها البطاطا وغيرها من الخضروات الجذرية بنجاح.

وفى مصر تخزن البطاطس فى نوالات، وهى أبنية ذات فتحات كافية للتهوية فى الجدران، وتغلق نهارًا، وتفتح ليلاً لاستقبال الهواء البارد.

التخزين البارد مع التحكم فى الرطوبة النسبية

يعتبر التخزين فى المخازن المبردة هو أكثر طرق التخزين شيوعًا؛ نظرًا لأنه يساعد على حفظ المنتجات بحالة جيدة لفترة طويلة نسبيًا. ويتم فى هذه الطريقة التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة النسبية، لكى تبقى مكونات الهواء الجوى كما هى.

المخازن المبردة

تصميم البناء

يمكن حساب مساحة أرضية المخزن المبرد بتحديد الحد الأقصى لكمية المنتج التى يمكن أن تتواجد فى المخزن فى وقت واحد بالمتر المكعب وقسمتها على ارتفاع التخزين. ويكون ارتفاع التخزين – عادة – مترين، وهو ارتفاع حمل البالتة. ويمكن زيادة ارتفاع التخزين بإضافة حوامل بالتات، أو – إذا كانت الكراتين قوية بما فيه الكفاية – بوضع البالتات فوق بعضها بارتفاع ثلاث منها. يُضاف إلى تلك المساحة مساحة أخرى للممرات ولحركة الرافعات الشوكية

حركة الهواء

يلزم أن يتحرك هواء المخزن المبرد فى جميع أنحاء المخزن لأجل المحافظة على

التجانس فى درجة الحرارة. وتصمم معظم المخازن المبردة بقدرة تحريك للهواء بمعدل ٢,٨٣م^{3} فى الدقيقة لكل طن من المنتج الذى يمكن أن يحتويه المخزن (١٠٠ قدم مكعب/طن). هذا .. ويصل المنتج إلى الحرارة المستهدفة فى خلال أيام قليلة حتى أسبوع من ملئ المخزن بالمنتَج. وبعد ذلك يمكن خفض حركة الهواء داخل المخزن إلى نحو ٢٠٪ إلى ٤٠٪ من القدرة المصمم عليها المخزن مع استمرار المحافظة على حرارة المنتَج التى وصل إليها واستمرار تجانس درجة الحرارة داخل المخزن. ويمكن أن يتم ذلك التخفيض إما بتشغيل المراوح على فترات بالاستعانة بجهاز توقيت، وإما باستعمال مراوح يمكن تشغيلها بسرعات مختلفة. هذا .. مع العلم بأن خفض سرعة حركة الهواء يقلل من فقد المنتج لرطوبته (Thompson ٢٠٠٤).

القدرة التبريدية

كقاعدة عامة .. فإن المخزن المبرد يلزمه حوالى ١٠–١٤ كيلووات kW من القدرة التبريدية لكل ١٠٠٠م^{3} من حجم المخزن (٠,٠٨–٠,١١ طن تبريد لكل ١٠٠٠ قدم مكعب)، ويلزم الحاويات ١٤ إلى ٢٥ كيلووات لكل ١٠٠٠م^{3} (٠,١١–٠,٢ طن لكل ١٠٠٠ قدم مكعب).

وسائل التبريد

تعتمد معظم المخازن المبردة على التبريد بإعادة ضغط البخار vapor recompression، وهى الطريقة التى تعرف بالتبريد الميكانيكى.

إن أهم ما يجب الاهتمام به فى تصميم المبردات هو المحافظة على التجانس فى كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى المخزن. ويتحقق التجانس فى درجة الحرارة بتوفير قدرة تبريدية مناسبة، مع تجانس فى توزيع حركة الهواء؛ الأمر الذى يقلل من الاختلافات فى درجة الحرارة بين ملف التبريد والهواء، مع توفر نظام دقيق للتحكم الحرارى. ويلزم توفر رطوبة نسبية عالية لخفض الفقد الرطوبى من المنتَج. وتتطلب معظم الخضروات رطوبة نسبية تتراوح بين ٨٥٪، و ٩٥٪ إلا أن بعض الخضر مثل البصل

(الأبصال) تتطلب رطوبة نسبية منخفضة عن تلك. وتتحقق الرطوبة النسبية العالية بالحد من التباين فى درجة الحرارة بين أجزاء المخزن. وبتشغيل ملف التبريد على حرارة قريبة من تلك المستهدفة فى المخزن. ويتحقق ذلك باستعمال ملف تبريد ذات مساحة سطحية كبيرة وبالاعتماد على نظام تحكم يمكنه المحافظة على عمل المبرد قياسًا على أعلى حرارة فى المخزن.

بدائل التبريد الميكانيكى

قد يمكن اللجوء إلى بعض بدائل التبريد الميكانيكى فى المناطق التى لا تتوفر فيها البنية الأساسية للتبريد، ومن هذه البدائل ما يلى:

١– التبريد الصحراوى:

يعرف نظام التبريد الصحراوى – كذلك المستخدم فى تبريد البيوت المحمية – باسم evaporative cooling، أو نظام الوسادة والمروحة pad and fan system. يفيد استعمال هذا النظام فى خفض حرارة الهواء إلى درجة قريبة من درجة حرارة الترمومتر المبتل بالهواء الخارجى. وهو يفيد – خاصة – فى الأجواء الجافة، وهى التى يكون الليل فيها مائلاً للبرودة، حيث يمكن استمرار التبريد ليلاً بمجرد التهوية.

٢– الاستفادة من حقيقة أن حرارة التربة على عمق مترين تكون معادلة للمتوسط السنوى لحرارة الهواء، وذلك بالتخزين على هذا العمق.

٣– الاستفادة كذلك من أن مياه الآبار تكون حرارتها معادلة – تقريبًا – للمعدل السنوى لحرارة الهواء، وذلك باستعماله فى تبريد المنتجات أوليًّا.

٤– استعمال الثلوج التى تتكون شتاءً.

٥– التخزين فى أماكن مرتفعة.

مولدات الرطوبة

ربما يحتاج الأمر إلى مولدات رطوبة humidifiers لإضافة رطوبة إلى مواد التعبئة الورقية والخشبية، وإلا فإن مواد التعبئة سوف تمتص احتياجاتها من الرطوبة من المنتج

ذاته. وكبديل لذلك .. يمكن استعمال عبوات بلاستيكية لا تمتص الرطوبة. واستخدام أكياس بلاستيكية تقلل الفقد الرطوبى. ويفيد استعمال مواد بلاستيكية بأقل قدر من التثقيب فى خفض الفقد الرطوبى من المنتج. وقد تسمح بالمحافظة على مستوى أقل من الرطوبة النسبية فى هواء المخزن.

وبالنسبة للمنتجات ذات معدلات النتح المنخفضة فإنها تفقد الرطوبة ببطء، وقد لا تحتاج إلى تجهيزات خاصة لرفع الرطوبة النسبية بالمخزن، خاصة إن لم تكن هناك حاجة لتخزينها لفترات طويلة.

وسائل التحكم فى الإثيلين ومكونات الهواء

يمكن تزويد المخازن بوسائل للتحكم فى الإثيلين وفى مكونات الهواء.

فنجد أن بعض المنتجات تتضرر بشدة من الإثيلين الذى يتعين خفض مستواه فى هواء المخزن لتجنب حدوث تلك الأضرار. وما لم تكن حرارة الهواء الخارجى شديدة الارتفاع أو شديدة الانخفاض فإن التهوية تعد هى الطريقة الأقل تكلفة لخفض تركيز الإثيلين. كذلك يمكن امتصاص الإثيلين ببرمنجنات البوتاسيوم التى تحضر فى صورة حبوب صغيرة لهذا الغرض. ويمكن أحيانًا معاملة بعض المنتجات – كالزهور ونباتات الزينة – كيميائيًّا لجعلها غير حساسة للإثيلين.

أما التحكم فى مكونات هواء المخزن فإنه يمكن أن يتحقق بزيادة تقدر بنحو ٥٪ من تكلفته الإنشائية. وتنفق تلك التكلفة الإضافية فى لحام الوصلات بين الحوائط والسقف والأرضيات، وفى توفير أبواب غير منفذة للغازات وتحتاج تلك المخازن – كذلك – إلى أجهزة للتحكم فى غازات هواء المخزن بالتركيزات المطلوبة (Thompson ٢٠٠٤).

أمور أساسية تتعلق بالتصميم والتشغيل

إن من أهم ما تجب ملاحظته بشأن تصميم وتشغيل وإدارة المخازن المبردة ما يلى:

١- تزويد المخازن بوحدات لجعل الهواء رطبًا humidifiers حتى لا تنخفض رطوبته النسبية عما ينبغي.

٢- تأمين دوران جيد لهواء المخزن بحجم وسرعة مناسبتين لضمان تجانس حرارة المخزن في كل جزء منه، ولكن مع مراعاة عدم زيادة سرعة حركة الهواء عما ينبغي، لكي لا يؤدي ذلك إلى زيادة فقد المنتَج للرطوبة. ويكفي – عادة – تدفقًا للهواء بمعدل ٣٤-٦٨م^{٣}/ساعة.

٣- توفير مراوح متعددة السرعات تسمح بزيادة سرعة الهواء في بداية التخزين، ثم خفضها بعد ذلك عندما تصبح كل حجرة التبريد في الحرارة المرغوب فيها.

٤- تخفيض حرارة المخازن المبردة إلى أقل حرارة يمكن أن يتحملها المنتَج المخزن فيها، والتي تزيد – عادة – بمقدار نصف درجة إلى درجة واحدة مئوية عن الحرارة التي يمكن أن تصيبه بأضرار البرودة.

٥- يتعين قياس درجة الحرارة في أجزاء مختلفة من المخزن للتأكد من تجانسها وعدم وجود مناطق دافئة أو أبرد مما ينبغي. كما يجب عدم تثبيت وحدات قياس الحرارة على الجدران التي تفصل المخزن عن الجو الخارجي؛ لأنها قد تتأثر بالحرارة الناتجة عن الأشعة الشمسية التي تسقط عليها بالخارج.

٦- ضرورة استعمال شرائح طولية من البلاستيك الثقيل على أبواب المخازن المبردة للحد من تسرب الهواء الدافئ داخلها.

٧- يجب تبريد الممرات وأرضية تحميل الشاحنات والحاويات للمحافظة على سلسلة التبريد، ويكتفي – عادة – بتبريدها إلى حوالي ٥-٧°م.

٨- ضرورة تصميم المبنى بطريقة تسمح بسهولة تطهيره.

٩- ضرورة تطهير أرضيات وجدران المخزن بالمطهرات المسموح بها مع استخدام الماء الساخن أو البخار عند تغيير المنتجات المخزنة، أو إخراجها من المخزن.

١٠- ضرورة غسيل أرضيات وجدران المخزن والممرات على فترات منتظمة (Tator ١٩٩٧).

أضرار تنشأ عن عيوب فى المخازن

تصاب الحاصلات البستانية بأضرار معينة نتيجة لوجود عيوب خاصة فى المخازن. ومن هذه الأضرار ما يلى:

أضرار الأمونيا

تحدث أضرار الأمونيا ammonia injury عندما يتسرب الغاز من أجهزة التبريد؛ حيث تتلون الأنسجة الخارجية للمنتجات المخزنة بلون بنىٍّ أو أخضر مُسْوَدٍّ. وقد تؤدى الأضرار الشديدة إلى ليونة الأنسجة الداخلية، وفقد المنتجات صلاحيتها للتسويق. ويحدث الضرر – عادة – عندما يصل تركيز الأمونيا فى جو المخزن إلى ١,٠٪، ولكنه لا يظهر إلا بعد عدة ساعات من التعرض لهذا التركيز؛ ولهذا يوصى بوضع أجهزة للتنبيه بتسرب الغاز.

ويمكن التخلص من أبخرة الأمونيا بالتهوية، أو بغسيل هواء المخزن بالماء إذا كان ذلك ممكنًا، أو بمعادلة الأمونيا بغاز ثانى أكسيد الكبريت sulfurdioxide إن كانت الخضر المخزنة غير حساسة لذلك الغاز، مع عدم زيادة تركيزه على ١٪ (Lurtz & Hardenburg ١٩٦٨).

أضرار نقص الأكسجين

يحدث النقص فى الأكسجين من جرّاء تنفس المنتجات المخزنة مع عدم توفر تهوية جيدة فى المخازن، ويكون ذلك مصحوبًا بزيادة فى نسبة ثانى أكسيد الكربون. وتختلف المنتجات فى مدى حساسيتها لذلك.

ومن الأضرار التى يحدثها نقص الأكسجين ما يلى:

١– ظهور حالة القلب الأسود فى درنات البطاطس.

٢– تبقع قرون الفاصوليا الخضراء ببقع بنية اللون.

المصطلحات المستخدمة فى مجال التبريد

١– الوحدات الحرارية Heat Units:

أكثر الوحدات الحرارية شيوعًا هى: الكالورى، والكيلو كالورى، والوحدة الحرارية البريطانية.

أ– الكالورى calori (اختصارًا: cal)، هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية.

ب– الكيلو كالورى kailocalori (اختصارًا: kcal): هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية.

جـ– الوحدات الحرارية البريطانية British Thermal Units (اختصارًا: BTUs): هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنهيتية (الوحدة الحرارة البريطانية = ٢٥٣ كالورى).

٢– الحرارة النوعية Specific Heat:

الحرارة النوعية هى كمية الحرارة – مقدرة بالكالورى – اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة واحدة مئوية. وكلما ازدادت الحرارة النوعية لمادة ما، احتاجت إلى كمية أكبر من الطاقة الحرارية لرفع حرارتها، وكانت أقل تعرضًا للتغير فى درجة الحرارة مع التغيرات فى الظروف البيئية. وفيما يلى الحرارة النوعية لعدد من المواد:

المادة	الحرارة النوعية
الماء	١,٠٠
الثلج	٠,٥٠
البخار	٠,٤٨
كحول الإيثايل	٠,٥٨
الخشب	٠,٤٢
الزجاج	٠,٢٠
الصلب	٠,١١

وللحرارة النوعية العالية أهمية كبيرة فى حفظ الأنسجة النباتية من التغيرات فى درجة حرارتها مع التغيرات البيئية (Halfacre & Barden ١٩٧٩).

ويمكن تقدير الحرارة النوعية (س) فوق درجة التجمد لأى نوع من المنتجات بالمعادلة التالية:

س = ٠,٠٠٨ (نسبة الرطوبة فى المنتَج) + ٠,٢٠

علمًا بأن (س) فى هذه المعادلة هى تقدير لعدد الوحدات الحرارية البريطانية BTU التى تلزم لرفع حرارة رطل واحد من المنتَج درجة واحدة فهرنهيتية.

ويعطى جدول (١٠-١) بيانًا بالحرارة النوعية المقدرة لعددٍ من محاصيل الخضر على أساس المعادلة السابقة.

جدول (١٠-١): بيان بالحرارة النوعية لعدد من محاصيل الخضر.

المنتَج	أعلى درجة تجمد (ف°)	المحتوى الرطوبى (٪)	الحرارة النوعية BTU/رطل لكل درجة فهرنهيتية
الخرشوف	٢٩,٩	٨٣,٧	٠,٨٧
الطرطوفة	—	٧٩,٨	٠,٨٤
الأسبرجس	٣٠,٩	٩٣,٠	٠,٩٤
الفاصوليا الخضراء	٣٠,٧	٨٨,٩	٠,٩١
فاصوليا الليما	٣١,٠	٦٦,٥	٠,٧٣
البنجر	٣٠,٣	٨٧,٦	٠,٩٠
البروكولى	٣٠,٩	٨٩,٩	٠,٩٢
كرنب بروكسل	٣٠,٥	٨٤,٩	٠,٨٨
الكرنب	٣٠,٤	٩٢,٤	٠,٩٤
الكرنب الصينى	—	٩٥,٠	٠,٩٦
الجزر	٢٩,٥	٨٨,٢	٠,٩١
القنبيط	٣٠,٦	٩١,٧	٠,٩٣

تابع جدول (١٠-١).

المنتج	أعلى درجة تجمد (°ف)	المحتوى الرطوبي (٪)	الحرارة النوعية BTU/رطل لكل درجة فهرنهيتية
السيليرياك	٣٠,٣	٨٨,٤	٠,٩١
الكرفس	٣١,١	٩٣,٧	٠,٩٥
الكولارد	٣٠,٦	٨٦,٩	٠,٩٠
الذرة السكرية	٣٠,٩	٧٣,٩	٠,٧٩
الخيار	٣١,١	٩٦,١	٠,٩٧
الباذنجان	٣٠,٦	٩٢,٧	٠,٩٤
الهندباء	٣١,٩	٩٣,١	٠,٩٥
الثوم	٣٠,٥	٦١,٣	٠,٦٩
الكيل	٣١,١	٨٦,٦	٠,٨٩
كرنب أبو ركبة	٣٠,٢	٩٠,٣	٠,٩٢
الكرات أبو شوشة	٣٠,٧	٨٥,٤	٠,٨٨
الخس	٣١,٧	٩٤,٨	٠,٩٦
الكنتالوب	٢٩,٩	٩٢,٠	٠,٩٤
شهد العسل	٣٠,٣	٩٢,٦	٠,٩٤
البطيخ	٣١,٣	٩٢,٦	٠,٩٤
عيش الغراب	٣٠,٤	٩١,١	٠,٩٣
البامية	٢٨,٧	٨٩,٨	٠,٩٢
البصل (الأبصال)	٣٠,٦	٨٧,٥	٠,٩٠
البصل الأخضر	٣٠,٤	٨٩,٤	٠,٩١
البقدونس	٣٠,٠	٨٥,١	٠,٨٨
الجزر الأبيض	٣٠,٤	٧٨,٦	٠,٨٣
البسلة الخضراء	٣٠,٩	٧٤,٣	٠,٧٩
الفلفل الحلو	٣٠,٧	٩٢,٤	٠,٩٤
البطاطس	٣٠,٩	٨١,٢	٠,٨٥
القرع العسلى	٣٠,٥	٩٠,٥	٠,٩٢

تابع جدول (١٠-١).

المنتج	أعلى درجة تجمد (°ف)	المحتوى الرطوبى (٪)	الحرارة النوعية BTU/رطل لكل درجة فهرنهيتية
الفجل	٣٠,٧	٩٤,٥	٠,٩٦
الروبارب	٣٠,٣	٩٤,٩	٠,٩٦
الروتاباجا	٣٠,١	٨٩,١	٠,٩١
السلسفيل	٣٠,٠	٧٩,١	٠,٨٣
السبانخ	٣١,٥	٩٢,٧	٠,٩٤
قرع الشتاء	٣٠,٥	٨٥,١	٠,٨٨
الكوسة	٣١,١	٩٤,٠	٠,٩٥
البطاطا	٢٩,٧	٦٨,٥	٠,٧٥
الطماطم الخضراء مكتملة التكوين	٣١,٠	٩٣,٠	٠,٩٤
الطماطم الحمراء	٣١,١	٩٤,١	٠,٩٥
اللفت	٣٠,١	٩١,٥	٠,٩٣
الكرسون المائى	٣١,٤	٩٣,٣	٠,٩٥

٣- حرارة التبخر Heat of Vaporization:

حرارة التبخر هى كمية الحرارة اللازمة لتغيير جرام واحد من المادة عند درجة الغليان من الحالة السائلة إلى حالة بخار. هذا .. ويلزم التخلص من نفس الكمية من الحرارة لتحويل جرام واحد من المادة من حالة بخار إلى الحالة السائلة عند درجة الغليان.

ويوضح جدول (١٠-٢) حرارة السيولة وحرارة التبخر لعدد من المواد. ويتضح من الجدول ارتفاع قيمة حرارة السيولة والتبخر بالنسبة للماء، بالمقارنة بالمواد الأخرى.

٤- انتقال الحرارة Heat Transfer:

تنتقل الحرارة بإحدى ثلاث وسائل. ويكون انتقالها دائمًا من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأبرد.

أ- بالتوصيل Conduction:

التوصيل هو انتقال الحرارة خلال مادة – ويتناسب معدل التوصيل مع مقطع مادة التوصيل والتدرج الحرارى من الجانب الساخن نحو الجانب الأبرد. كما يختلف حسب المادة التى يتم التوصيل الحرارى من خلالها. فالصلب ينقل الحرارة جيدًا، بينما يعتبر الخشب موصلاً رديئًا للحرارة. ويعتبر الهواء موصلاً رديئًا جدًا.

ب- بالحمل Convection:

الحمل هو انتقال الحرارة بواسطة مادة متحركة. ويتوقف ذلك على تولد تيارات حمل.

جـ- بالإشعاع Radiation:

الإشعاع هو انتقال الطاقة دون ضرورة لوجود مادة موصلة. وتتكون الأشعة الحرارية من أشعة كهرومغناطيسية تنتقل بسرعة الضوء، وهى ٣ × ١٠^٨ متر/ثانية.

جدول (١٠-٢): حرارة السيولة أو الانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد (بالكالورى).

المادة	حرارة السيولة أو الانصهار	حرارة التبخر
الكحول الإيثلى	٢٥,٠	٢٠٤
الأكسجين	٣,٣	٥١
الماء	٨٠,٠	٥٤٠

٦- حرارة الحقل Field Heat:

هى الحرارة التى يلزم التخلص منها لخفض حرارة المنتج إلى الدرجة المناسبة للتخزين. تضاف إليها الحرارة النوعية Vital Heat. وهى الحرارة التى تنتج من تنفس المنتج أثناء تبريده حتى وصوله إلى درجة الحرارة المناسبة للتخزين.

٧- طن التبريد Ton of Refrigeration:

هو كمية الحرارة التى يلزم اكتسابها بواسطة طن من الثلج أثناء الذوبان فى درجة حرارة الصفر المئوى خلال فترة ٢٤ ساعة. ويتطلب الأمر ١٤٤ وحدة حرارية بريطانية

لإذابة رطل واحد من الثلج فى درجة حرارة الصفر المئوى، أو حوالى ٢٨٨٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية لإذابة طن من الثلج فى درجة حرارة الصفر المئوى؛ ويعنى ذلك ١٢٠٠٠ BTU/ساعة.

٨- الحرارة الحيوية Vital Heat :

الحرارة الحيوية هى الحرارة الناتجة من التنفس. ويمكن تقدير كمية الحرارة الحيوية لأى محصول أثناء التخزين بتقدير كمية غاز ثانى أكسيد الكربون المنطلقة منه أثناء التنفس بالملليجرام فى الساعة. وضرب الناتج فى عدد ثابت هو ٢٢٠.

فمثلاً .. إذا أنتج البروكولى ١٦٠ ملليجرام CO_2 فى ساعة/كيلوجرام من الخضار على حرارة ٤٠°ف (٤,٤°م)، فإن ذلك يعنى أنه ينطلق من البروكولى:

١٦٠ × ٢٢٠ = ٣٥٢٠٠ BTU لكل طن من البروكولى فى اليوم، ويمثل الثابت ٢٢٠ كمية الحرارة المنطلقة عند التنفس، مقدرة بالوحدات الحرارية البريطانية إذا ما أنتج الطن الواحد من الخضر الطازجة ملليجرام واحد من غاز CO_2 فى مدة ٢٤ ساعة. ويقدر الثابت كالتالى:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 673 \text{ kilocalorie}$$

∴ ٦ CO_2 ← ٦٧٣ كيلو كالورى

∴ ١ CO_2 ← $\frac{٦٧٣}{٦}$ = ١١٢,١ كيلو كالورى

∴ ٤٤ جم CO_2 ← ١١٢,١ كيلو كالورى

∴ ١ ملليجرام CO_2 ← $\frac{١١٢,١}{٤٤ \times ١٠٠٠}$ = ٠,٠٠٢٥٥ كيلو كالورى

= ٢,٥٥ كالوى (سعر حرارى)

وللتحويل من السعرات الحرارية لكل كجم/ ساعة إلى وحدات حرارية بريطانية لكل طن/يوم نضرب فى ٨٦,٣ ليصبح الناتج ٢.٥٥ × ٨٦,٣ = ٢٢٠ وهو الثابت المطلوب (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

التبريد الميكانيكى

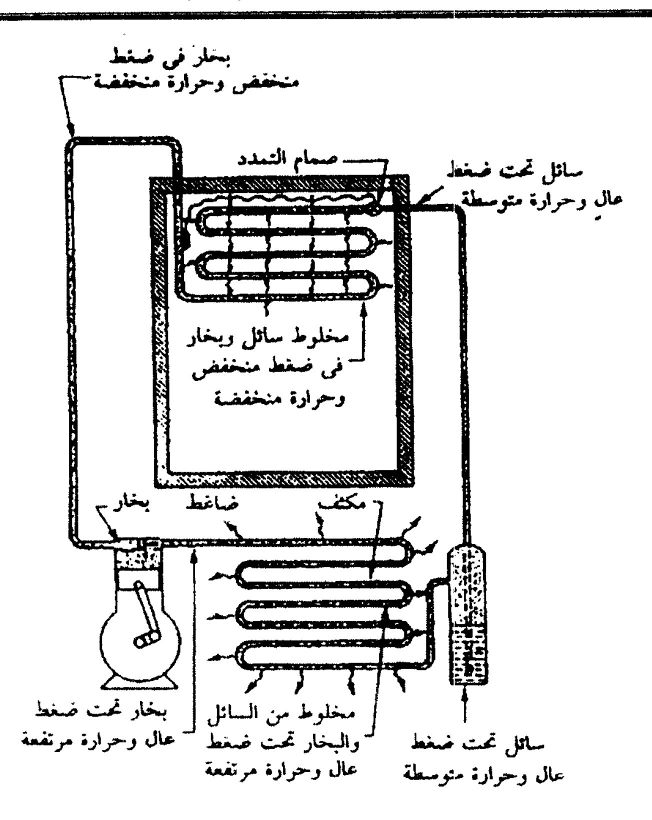
تعتمد معظم المخازن المبردة على التبريد الميكانيكى mechanical refrigeration كوسيلة للتحكم فى درجة حرارة المخزن. ويعتمد هذا النظام على خاصية اكتساب السوائل للحرارة عند تحولها إلى غاز. وأبسط طريقة لتحقيق ذلك هى إطلاق النيتروجين السائل فى حيز المخزن، ولكن ذلك يتطلب إمدادات خارجية مستمرة من الغاز المُسال. ولا يتبع ذلك إلا فى تبريد الشاحنات، حينما يكون للتركيز العالى من النيتروجين والتركيز المنخفض من الأكسجين أهمية إضافية فى احتفاظ المنتَج بجودته أثناء الشحن.

وتَسْتَخْدِم نُظمُ التبريد الميكانيكى الأكثر شيوعًا غازات أخرى مثل الأمونيا وعدد من الهاليدات السائلة halide fluids (والتى يشار إليها أحيانًا بالاسم التجارى "فريون")؛ حيث يتم تجميع البخار بواسطة ضاغط compressor، ويزود النظام بوسيلة لتبادل الحرارة مع الوسط المحيط به

ويبين شكل (١٠-١): مكونات هذا النظام الميكانيكى للتبريد. يلاحظ فى الشكل أن سائل التبريد يمر من خلال صمام التمدد؛ حيث ينخفض الضغط فجأة؛ ليتبخر السائل وتنخفض حرارته إلى درجة مؤثرة فى إزالة الحرارة من حيز التخزين. ويُحصل على الحرارة المسئولة عن تبخر السائل من المادة أو المنتج الذى يُراد تبريده. حيث تنتقل الحرارة منه إلى هواء المخزن، ثم إلى ملف التبريد الذى يتحول بداخله سائل التبريد إلى الحالة الغازية؛ ولذا .. فإن ملف التبريد يقع – بالضرورة – فى داخل الحيز الذى يُراد تبريده.

وبعد أن يكتمل تحول سائل التبريد إلى غاز. فإن الغاز يُعاد ضغطه بضاغط؛ ليمر من خلال مكثف condenser، ويتم تبريده إلى سائل من جديد. ويقع المكثف – بالضرورة – خارج الحيز الذى يُراد تبريده؛ لأنه طارد للحرارة. يخزن السائل المكثف بعد ذلك فى مستقبل؛ ليتم إخراجه – تدريجيًا – حسب مدى الحاجة إلى التبريد.

ويعرف طرازان من ملفات التبريد: مبتل وجاف.



شكل (١٠-١): تخطيط للنظام الميكانيكى للتبريد.

طراز الملف المبتل

يعتمد هذا النظام للتبريد على وجود ملف بارد يرش عليه رذاذ من الماء، الذى يتجمع أسفل الملفات ليعاد ضخه من جديد، فى الوقت الذى يُدفع فيه الهواء المراد تبريده ليمر على الملفات المثبتة لتنخفض حرارته، وتزداد رطوبته النسبية حتى ٩٨٪.

يجب أن يكون الماء المستخدم فى هذا النظام ماء صنبور صالح للشرب، وأن تتم معاملته بالكلورين بتركيز ١٠٠-١٥٠ جزء فى المليون كلورين حر، علمًا بأن حرارة هذا الماء تكون قريبة من الصفر المئوى، وأنه يكون عرضه للتلوث باستمرار.

ومن أهم مميزات التبريد بنظام الملف المبتل ما يلى:

١- يمكن تصميم وحدات صغيرة منه، كما يمكن زيادة أحجامها حسب الحاجة.

٢- لا يتعرض المنتَج للتجمد أثناء التشغيل العادى.

٣- انخفاض التكلفة.

٤- يناسب المنتجات التى يلزمها تبريد إلى حرارة ٥°م وأعلى من ذلك.

٥- يعطى أعلى قدر من الرطوبة النسبية، والتى تتراوح – عادة – بين ٩٧٪، و ٩٨٪.

ويُعاب على نظام الملفات المبتلة ما يلى:

١- لا يمكن لهذا النظام تبريد المنتجات لأقل من ٢.٥-٣°م.

٢- يتطلب فترة أطول لإتمام التبريد الأولى، حيث لا تقل حرارة الهواء المستخدم فى التبريد عن ١-١.٥°م.

٣- يمكن أن يتسبب فى التلوث الميكروبى للمنتجات عن طريق الماء المعاد دورانه.

٤- تزيد فيه تكلفة التشغيل واستهلاك الطاقة.

٥- يحتاج إلى معاملة الماء بالمطهرات.

٦- يزيد امتصاص الكراتين للرطوبة مما يجعل الكراتين غير المشمعة عرضه للانهيار.

طراز الملف الجاف

يعتمد هذا النظام على استعمال ملف تبريد إضافى محدود القدرة يعمل على المحافظة على تواجد رطوبة نسبية عالية فى تيار الهواء المار على المنتج. ويمكن بالتشغيل الجيد لهذا النظام المحافظة على رطوبة نسبية بين ٩٠٪، و ٩٥٪.

ومن أهم مميزات هذا النظام ما يلى:

١- يمكن المحافظة على رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠٪، و ٩٥٪.

٢- لا يوجد ماء يتعرض للتلوث الميكروبى لعدم ملامسته للمنتجات المبردة.

٣- تزداد فيه سرعة تدفق الهواء.

٤- يوفر أقل حرارة تلزم لتبريد المنتج، حتى الصفر المئوى.

٥- يعطى أسرع تبريد أولى.

٦- تقل فيه تكلفة التشغيل والصيانة.

٧- يمكن تبخير بعض المنتجات (مثلاً: العنب بثانى أكسيد الكبريت) أثناء التبريد الأولى.

ومن أهم عيوب نظام الملفات الجافة ما يلى:

١- يحتاج النظام إلى استعمال مسطح أكبر للملفات يزيد بمقدار ثلاثة أضعاف عن نظام الملفات المبتلة.

٢- زيادة التكلفة الإنشائية.

٣- احتمال تعرض المنتج للتجمد إن لم يتم تشغيل النظام بطريقة سليمة (Tator ١٩٩٧).

الرطوبة النسبية

تُعرَّف الرطوبة النسبية Relative Humidity بأنها: "النسبة المئوية لما يحمله حيز من الهواء من بخار الماء إلى أقصى ما يمكن أن يحمله نفس هذا الحيز من بخار الماء فى نفس درجة الحرارة".

يحتوى الهواء الجوى على عديد من الغازات بالإضافة إلى بخار الماء. ويتكون الهواء الجاف من ٧٨٪ نيتروجين، و ٢١٪ أكسجين، و ١٪ أرجون وثانى أكسيد كربون ومكونات أخرى. أما الهواء الرطب فإنه يكون خليطاً من مكونين، هما: الهواء الجاف وبخار الماء. وتتراوح كمية بخار الماء المتواجد فى الهواء من صفر٪ (فى الهواء الجاف) إلى الحد الأقصى (حد التشبع) الذى يعتمد على درجة الحرارة والضغط. وعلى الرغم من أن بخار الماء يمثل فقط من ٠,٠٤٪ إلى ١,٥ من وزن الهواء، فإنه يلعب دوراً جوهرياً جداً فى التأثير على المنتجات الطازجة بعد الحصاد.

المتغيرات السيكرومترية المستعملة فى قياس الرطوبة النسبية

إن المتغيرات التى تستخدم فى قياس رطوبة الجو psychrometric variables أربعة، هى: الحرارة، والرطوبة النسبية، وحرارة نقطة الندى dew point temperature، وحرارة الترمومتر المبتل wet bulb temperature، وهى المتغيرات التى تتضمنها لوحات قياس الرطوبة والتى تعرف باسم اللوحات السيكرومترية psychrometric charts.

وتستخدم عدة أجهزة فى قياس الرطوبة النسبية Relative Humidity، ويعد السيكروميتر psychrometer أكثرها شيوعًا. يحتوى هذا الجهاز على ترمومترين: تُتْرَك بصيلة (مستودع الزئبق) أحدهما دون غطاء (التوموتر الجاف)، بينما تُغَطًى بصيلة الترمومتر الآخر بقطعة من القماش المبلل بماء مقطر wick (الترمومتر المبتل). يقيس السيكروميتر "قوة تجفيف" drying power الهواء. وتعتمد النظرية التى يعمل على أساسها على أنه لو كان الهواء المحيط بالبصيلة المبتلة غير مشبع بالماء فإن الماء سيتبخر من القماش المبلل المحيط به؛ مما يؤدى إلى انخفاض حرارته.

وتنخفض حرارة الترمومتر المبتل إلى قيمة معينة حينما تتعادل الحرارة التى تصل — بالحمل convection والتوصيل conduction — من الهواء المنساب حول البصيلة مع الحرارة اللازمة لتبخير الماء النقى الموجود فى قطعة القماش المبللة. ويمكن حساب الرطوبة النسبية من الفرق بين قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل بالاستعانة بجداول أو رسوم بيانية خاصة.

وتعد الحركة السريعة للهواء حول الترمومترات ضرورية لدقة القياس. ويتحقق ذلك بسحب تيار مستمر من الهواء بالقرب من بصيلتى الترمومترين، مع تسجيل القراءة فى كليهما فى وقت متقارب وبدقة، ومع الاحتراس لكى لا تؤثر فيهما حرارة الجسم أو الحرارة المنبعثة من الأجسام الأخرى المحيطة بهما. ويتحقق ذلك بحفظ السيكروميتر بداخل صندوق خشبى يسمح بمرور الهواء بحرية من خلاله وحول الجهاز.

يلاحظ أنه – عند الصفر المئوى أو الحرارة الأقل من ذلك – يؤدى أى خطأ ولو بمقدار نصف درجة مئوية فى قراءة أى من الترمومترين الجاف أو المبتل إلى خطأ يقدر بنحو ٥٪–١٠٪ فى قراءة الرطوبة النسبية؛ ولذا .. يجب أن تستخدم ترمومترات معايرة جيدًا لهذا الغرض.

تستخدم اللوحة السيكرومترية psychrometric chart (شكل ١٠–٢) فى التوصل إلى قيمة الرطوبة النسبية من واقع قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل.

الخصائص السيكرومترية الهامة

نناقش – فيما يلى – الخصائص السيكرومترية psychrometric properties ذات الأهمية فيما بعد حصاد المنتجات البستانية:

١– درجة حرارة الترمومتر الجاف dry bulb temperature (db):

إن حرارة الترمومتر الجاف هى حرارة الهواء الفعلية المقيسة بترمومتر عادى.

٢– درجة حرارة الترمومتر المبتل wet bulb temperature (wb):

تقاس حرارة الترمومتر المبتل بترمومتر عادى يغطى فيه مستودع الزئبق بشريط مبتل يصل إلى كأس به ماء مقطر، مع تعرض الشريط لتيار من الهواء. يؤدى تعرض الشريط المبتل لتيار الهواء إلى تبخر الماء منه، وتُستمد حرارة تبخير الماء من الجو المحيط بالشريط. ويتعين أن يكون تيار الهواء كافيًا لمنع حدوث تغير جوهرى فى حرارة الهواء المحيط. ويؤدى تبخر الماء إلى تبريد مستودع الزئبق، وكلما كان الهواء المار به جافًا كلما ازداد معدل تبخر الماء من الشريط، وكلما ازداد الانخفاض فى حرارة الترمومتر المبتل. وتعد حرارة الترمومتر المبتل هى أقل حرارة يمكن أن يبرد إليها مخلوط الهواء اعتمادًا – فقط – على إضافة الماء إليه دون إزالة لأى حرارة منه، وهى العملية التى تعرف باسم التبريد بالتبخير evaporative cooling.

٣– نقطة الندى:

إذا ما بُرِّد الهواء دون إحداث تغيير فى محتواه من الرطوبة فإنه يفقد القدرة على

الاحتفاظ بالرطوبة. وإذا ما استمر تبريده فإنه يصل إلى درجة التشبع، ثم – مع استمرار التبريد – يفقد ماء على صورة ندى أو صقيع. وتعرف الحرارة التى يحدث عندها التكثف الرطوبى باسم "نقطة الندى" dew point إن كانت الحرارة أعلى من الصفر المئوى، وباسم "نقطة الصقيع" frost point إن كانت أقل من الصفر.

٤– الرطوبة النسبية relative humidity (RH):

هى أكثر القيم استعمالاً للتعبير عن حالة بخار الماء فى الهواء الرطب، وهى نسبة ضغط بخار الماء فى الهواء إلى ضغط بخار الماء الذى يحدث عنده التشبع فى نفس درجة الحرارة، ويعبر عنها كنسبة مئوية.

٥– نسبة الرطوبة humidity ratio:

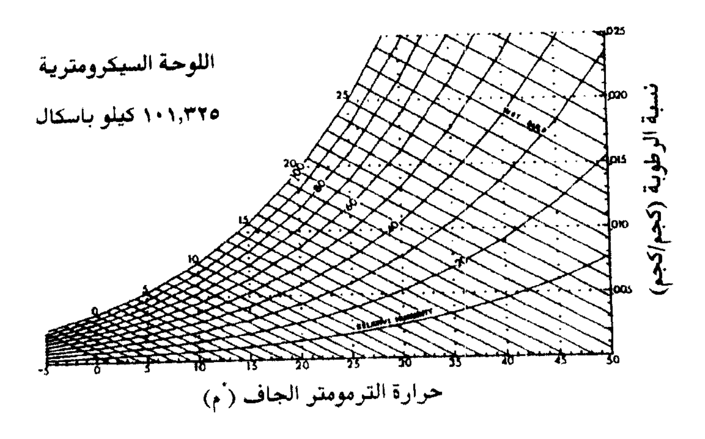
تعرف نسبة الرطوبة بأنها نسبة وزن بخار الماء فى الهواء الرطب إلى وزن الهواء الجاف فى العينة. ويعبر عنها بالكيلوجرام من الماء لكل كيلوجرام من الهواء الجاف، كما أنها تعرف – كذلك بالـ mixing ratio، وبالرطوبة المطلقة absolute humidity. ولهذه الخاصية فائدة كبيرة إذ إنها تسمح بمقارنة حالتين فيما يتعلق بالانحدار الرطوبى بينهما، فبخار الماء ينتقل من حالة تكون فيها الرطوبة عالية إلى حالة تكون فيها الرطوبة أقل (Talbot & Baird ٢٠٠٢).

اللوحة السيكرومترية

تظهر درجة حرارة الترمومتر الجاف على المحور الأفقى للوحة السيكرومترية (شكل ١٠–٢)، بينما يمثل المحور الرأسى المحتوى الرطوبى للهواء، وهو ما يعرف بالرطوبة المطلقة absolute humidity أو نسبة رطوبة بخار الماء إلى الهواء (humidity ratio). وتكون وحدة قياس الرطوبة المطلقة – عادة – هى وزن بخار الماء لكل وزن معين من الهواء الجاف، ويعبر عنها بالجرام/كجم (أو بالكيلوجرام/كيلوجرام فى النظام الدولى للوحدات).

وعادة .. تتراوح الرطوبة المطلقة من ٠,٠٠٤–٠,٠١٥ كجم/كجم. وبالرغم من أن

نسبة بخار الماء تتراوح فى هذا المدى الرطوبى بين ٠,٤٪ و ١,٥٪ - بالوزن - من الهواء، فإن بخار الماء يلعب دورًا جوهريًا فى التأثير على فترة بقاء الخضر المخزنة بحالة نضرة.



شكل (١٠-٢): اللوحة السيكرومترية **Psychrometric chart**.

ويظهر على أعلى خط منحنٍ فى اللوحة الحد الأقصى لكمية بخار الماء التى يمكن أن يحملها الهواء عند كل درجة حرارة. يلاحظ أن الهواء تزيد قدرته على حمل بخار الماء - تدريجيًا - مع كل ارتفاع فى درجة حرارته. ويعرف هذا المنحنى العلوى كذلك بمنحنى الـ ١٠٠٪ رطوبة نسبية. أما المنحنيات الأخرى، فإنها - كما تظهر فى الشكل من أعلى إلى أسفل - منحنيات الـ ٨٠٪، و الـ ٦٠٪، والـ ٤٠٪، والـ ٢٠٪ رطوبة نسبية. ويمثل المحور الأفقى منحنى الـ صفر ٪ رطوبة نسبية.

ويمكن رسم منحنى لـ ٥٠٪ رطوبة نسبية؛ حيث إنه يمر بالنقط التى تمثل رطوبة مطلقة تعادل نصف أقصى رطوبة مطلقة فى أى درجة حرارة؛ أى إنه يقع - دائمًا - فى منتصف المسافة العمودية بين منحنى الـ ١٠٠٪ رطوبة نسبية والمحور الأفقى الذى يمثل صفر ٪ رطوبة نسبية. ويمكن رسم أية خطوط أخرى للرطوبة النسبية باتباع نفس الطريقة.

وكقاعدة عامة – كما يلاحظ من الشكل – فإن قدرة الهواء عل حمل الرطوبة تزداد – تقريبًا – بمقدار الضعف مع كل ارتفاع قدره ١١ °م فى درجة الحرارة.

وإذا انخفضت درجة حرارة الهواء فى المخازن، فإن قدرته على حمل بخار الماء تنخفض تبعًا لذلك، وربما يصبح مشبعًا ببخار الماء؛ أى تصبح رطوبته النسبية ١٠٠٪. وإذا استمر الانخفاض فى درجة حرارة الهواء، فإنه يفقد جانبًا من رطوبته فى صورة ندى أو تكثف لبخار الماء. وتعرف الحرارة التى يحدث عندها التكثف باسم "حرارة الندى" dew point temperature. وقد يكون الفقد الرطوبى فى صورة صقيع إذا انخفضت الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى، وتعرف الحرارة حينئذٍ باسم "حرارة الصقيع" frost point temperature.

وتجدر ملاحظة أن الرطوبة النسبية المقدرة لا تمثل – وحدها – قيمة ذات معنى؛ فهى لابد وأن تكون مصاحبة لأى متغير سيكرومترى آخر. وكما يتبين من شكل (١٠-٢) فإن حالة الهواء الذى يحتوى على ٨٠٪ رطوبة نسبية تختلف كثيرًا جدًّا عند الصفر المئوى منه عند ٢٠ °م مع نفس الرطوبة النسبية.

وتظهر درجة حرارة الترمومتر المبتل بالخطوط المائلة التى تمتد قطريا إلى أعلى – من اليمين إلى اليسار – عبر الشكل. تُستعمل هذه الخطوط فى تحديد المنطقة التى تمثل حالة الهواء بدقة على اللوحة السيكرومترية كما قيست باستخدام السيكروميتر؛ حيث إن نقطة تقاطع خط قراءة الترمومتر المبتل مع الخط العمودى – الذى يمثل قراءة الترمومتر الجاف – تمثل حالة الحرارة والرطوبة الجوية (عن Grierson & Wardowski ١٩٧٥، و Kader وآخرين ١٩٨٥).

وتحدد نقطة الندى لأى حالة معينة بالتقاطع بين خط أفقى يرسم ليصل بين تلك الحالة (التى تمثلها نقطة) وخط التشبع الذى يمثل ١٠٠٪ رطوبة نسبية.

أما ضغط بخار الماء فإنه لا يظهر فى كل اللوحات السيكرومترية، ولكنه قيمة هامة عند تداول المنتجات الطازجة. ونجد عند ضغط بارومترى معين أنه يوجد ارتباط مباشر

بين نسبة الرطوبة وضغط بخار الماء أيًّا كانت درجة الحرارة. ويستخدم ضغط بخار الماء – غالبًا – كتعبير عن مستوى الرطوبة، وخاصة فيما يتعلق بالفرق فى ضغط بخار الماء بين نقطتين، وهو الذى يعرف باسم vapor pressure deficit. هذا وينساب بخار الماء من نقطة ذات ضغط عال إلى أخرى ذات ضغط أقل. ويحدد الـ vapor pressure deficit معدل النتح، وبالتالى معدل فقد الماء من المنتجات البستانية، الأمر ذات الأهمية عند تداول تلك المنتجات (Talbot & Baird ٢٠٠٢).

وسائل أخرى لقياس الرطوبة النسبية

يمكن أخذ قراءات مباشرة للرطوبة النسبية باستعمال الـ hair hygrometers. ويتعين فى هذه الحالة معايرة هذه الأجهزة دوريًّا باستعمال سيكروميتر.

وتستخدم الـ electrical hygrometers – كذلك – بصورة متزايدة لقياس الرطوبة، وللتحكم فى أجهزة الترطيب humidifying equipments. وأساس عمل هذه الأجهزة هو قدرة الغشاء الهيجروسكوبى hygroscopic film على تغيير مقاومته للكهرباء مع أى تغير صغير فى الرطوبة النسبية. وتجب معايرة هذه الأجهزة بصورة دورية.

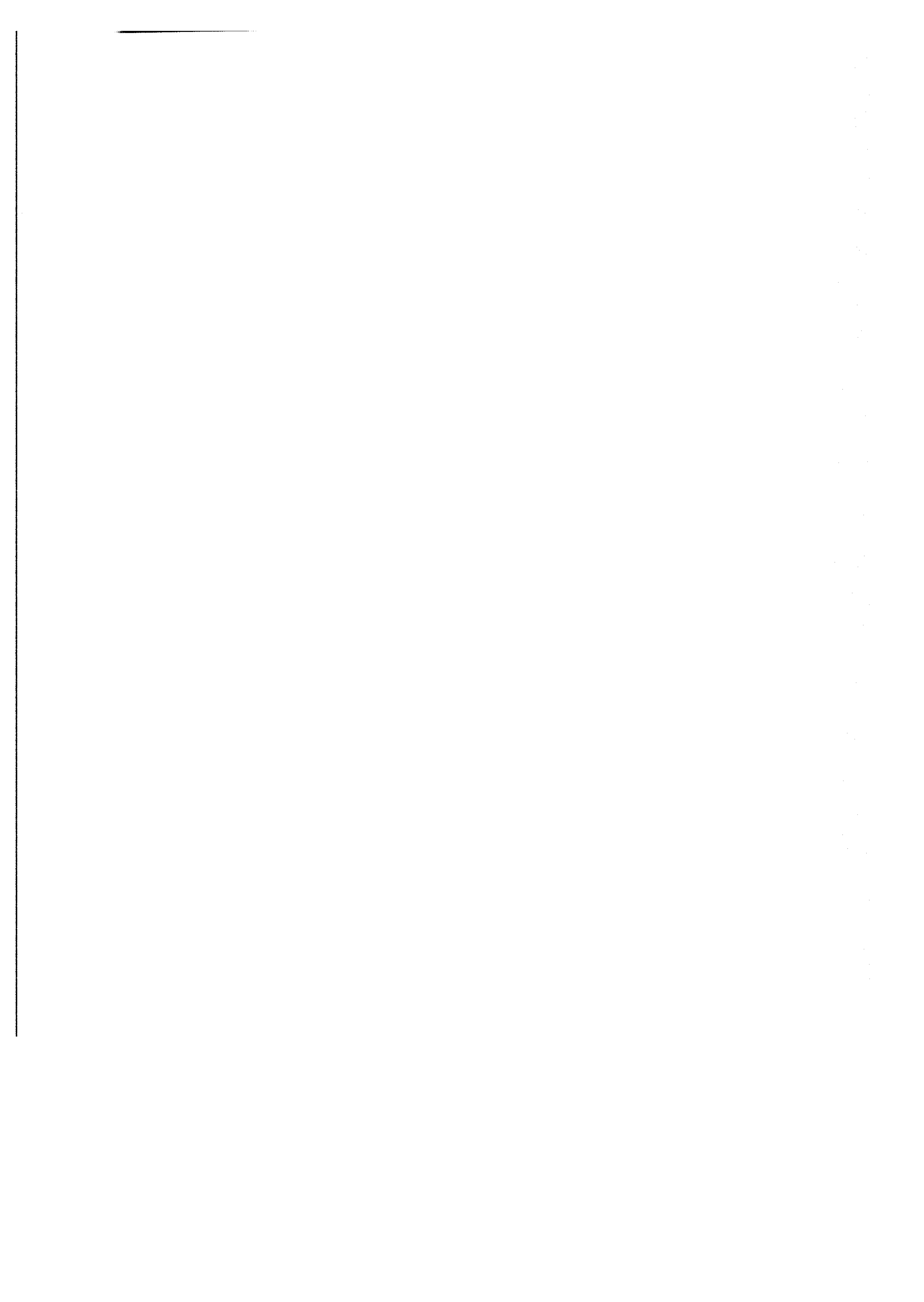
وسائل التحكم فى الرطوبة النسبية

إذا لم تكن رطوبة المخزن بعد التبريد كافية، فإنه ينصح بإضافة رذاذ الماء إلى هواء المخزن، أو رش الأرضيات بالماء على فترات، وعادة ما تكفى ٤ لترات من الماء فى الساعة/لكل طن تبريد؛ للحفاظ على ٩٥٪ رطوبة نسبية (Ware & MaCollum ١٩٨٣).

ومما يساعد على تأمين الرطوبة النسبية المناسبة استعمال الثلج المجروش. ورش المنتجات بالماء، وعدم اختلاف حرارة ملفات التبريد عن حرارة هواء المخزن بأكثر من ثلاث درجات مئوية – لمنع تكثف الرطوبة عليها – ويتحقق ذلك باستعمال ملفات كبيرة.

والأكثر شيوعًا هو استخدام أجهزة الترطيب، التى تقوم بإضافة الماء آليًا – عند

اللزوم – على صورة ضباب. ويتم التحكم الآلى عن طريق الـ electrical hygrometers التى سبقت الإشارة إليها.



الفصل الحادى عشر

التخزين البارد

نتناول بالشرح فى هذا الفصل التخزين البارد العادى للمنتجات البستانية الطازجة؛ أى فى الهواء العادى غير المعدل (modified atmosphere)، وغير المتحكم فى مكوناته (controlled atmosphere)، وتحت الضغط الجوى العادى.

وابتداءً .. يجب أن تخزن معظم الحاصلات البستانية فى الظلام، أو على الأقل فى إضاءة منخفضة جدًا، ولكن القليل من الضوء لا يضر البطاطا، أو القرع العسلى. ولضوء الشمس المباشر تأثير ضار على الخضروات المخزنة بصورة عامة.

يتبقى بعد ذلك أهم عاملين فى التخزين البارد، وهما: درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، بالإضافة إلى عامل التهوية الذى يؤثر فى كل منهما، وتلك هى مواضيع هذا الفصل.

أهمية الرطوبة النسبية والفقد الرطوبى من المنتجات الطازجة

للرطوبة النسبية أهمية كبيرة بالنسبة للمنتجات الطازجة المخزنة؛ لأن نقص الرطوبة يسرع من ذبول الخضروات. وزيادتها عن اللازم — أى عندما تكون قريبة من ١٠٠٪ — تؤدى إلى نمو العفن على الجدران والأرضيات والعبوات، وعلى المنتجات ذاتها. وينصح غالبًا برطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠٪ و ٩٥٪ فى معظم المنتجات مع بعض الاستثناءات، كما فى البصل، والثوم، والبطاطس.

ويتوقف توفير الرطوبة النسبية المناسبة على إحكام عزل المخازن عن الجو الخارجى، وتوفير أجهزة تبريد قوية؛ حتى تصل البرودة بسرعة إلى كل المنتج.

إن الفقد الرطوبى من المنتجات البستانية الطازجة ليس فقط فقدًا فى الوزن، ولكنه

يعد – كذلك – فقدًا أكبر فى الطزاجة. وأحد الأسباب الرئيسية لتدهور المنتجات وفقدان صلاحيتها للتسوق.

فيؤدى فقد الرطوبة إلى انكماش عديد من المنتجات البستانية. وذبول الأوراق مما يتطلب تقليمها تقليمًا جائرًا لأجل المحافظة على صلاحيتها للتسويق.

ونجد – بصورة عامة – أن سرعة فقد المنتج الطازج للرطوبة تكون على حرارة ٢٥ ْم ورطوبة نسبية ٣٠٪ أسرع بمقدار ٣٦ مرة عن فقده للرطوبة على حرارة صفر ْ م و ٩٠٪ رطوبة نسبية.

ويبين جدول (١١–١) الحد الأقصى للفقد الرطوبى فى محاصيل الخضر. والتى يصبح بعدها المنتج غير صالح للتسويق.

جدول (١١–١): الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى من محاصيل الخضر، والتى يصبح بعدها المنتج غير صالح للتسويق (Ben-Yehoshua & Radov ٢٠٠٣).

المحصول	الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى (%)
الأسبرجس	٨
الفول الرومى	٦
فاصوليا ملتى فلورا (المدادة)	٥
البنجر (جذور)	٧
البنجر (بالأوراق)	٥
كرنب بروكسل	٨
الكرنب	٧
الجزر (جذور)	٨
الجزر (بالأوراق)	٤
القنبيط	٧
الكرفس	١٠
الخيار	٥
الكرات أبو شوشة	٧

تابع جدول (١١–١).

المحصول	الحد الأقصى الممكن للفقد الرطوبى (%)
الخس	٣
البصل (الأبصال)	١٠
الجزر الأبيض	٧
البطاطس	٧
البسلة	٥
الفلفل الأخضر	٧
السبانخ	٣
البروكولى	٤
الفراولة	٦
الذرة السكرية	٧
الطماطم	٧

إن التباين فى معدل فقد الماء بالنتح من مختلف المنتجات كبير للغاية وقد يبلغ الألف ضعف بين أقلها وأكثرها نتحًا. ويمكن إرجاع ذلك التباين إلى عدة عوامل مثل التباين الواسع فى نسبة المساحة السطحية إلى الحجم فى مختلف المنتجات (جدول ١١–٢)، فمثلاً .. تكون النسبة (السطح/الحجم) حوالى ٥٠–١٠٠/سم^{2} لكل سم^{3} فى الخضر الورقية، بينما تكون حوالى ٠.٢سم^{2} لكل سم^{3} فى رأس كرنب شديدة الإندماج أو فى جذر كبير من اللفت. ويؤثر حجم المنتج جوهريًّا على معدل نتحه. فالمنتجات الكبيرة الحجم تكون فيها نسبة مساحة السطح/الحجم أقل مما فى المنتجات الصغيرة الحجم، وهى التى يكون فقدها للماء أكثر لكل وحدة وزن. كذلك فإن شكل الخضر يؤثر فى مساحة السطح إلى الحجم. فالخضر الطويلة الرفيعة المستدقة كالجزر تفقد الرطوبة أكثر من الخضر الأسمك منها حتى ولو كانت أسطوانية. ويزداد فقد الرطوبة فى أطراف جذور الجزر المستدقة للسبب ذاته (Ben-Yehoshua & Rodov ٢٠٠٣).

ويبين جدول (١١–٣) معامل النتح لبعض الخضر والفاكهة.

كما يعطى جدولا (١١–٤)، و (١١–٥) معدل الفقد المائى من كل من الخضر الورقية. والثمرية – على التوالى – تحت ظروف معينة من الحرارة والرطوبة.

جدول (١١–٢): مساحة السطح الخارجى إلى الحجم فى عدد من الحاصلات البستانية.

نسبة المساحة/ الحجم (سم²/سم³)	المنتجات
٥٠٠–١٠٠٠	الأوراق المفردة المأكولة (المساحات لما بين الخلايا)
٥٠–١٠٠	الأوراق المفردة المأكولة (المساحات الخارجية)
١٠–١٥	معظم محاصيل الحبوب
٥–١٠	بذور البقوليات
٢–٥	قرون البقوليات – جوز الهند – الفراولة – الروبارب – الشالوت
٠,٥–١,٥	الدرنات – الجذور المتدرنة (مثل اليام الكبير الحجم) – الجذور الوتدية الكبيرة – التفاحيات – الفاكهة ذات النواة الحجرية – الموالح – ثمار القرعيات عدا الكوسة – الموز – البصل
٠,٢–٠,٥	الكرنب شديد الإندماج

جدول (١١–٣): معامل النتح لبعض الخضر والفاكهة (عن Ben-Yehoshua & Rodov ٢٠٠٣).

المحصول	معامل النتح (mg kg⁻¹s⁻¹mPa⁻¹)	مدى معامل النتح كما وجد فى دراسات متنوعة
التفاح	٤٢	١٦–١٠٠
كرنب بروكسل	٦١٥٠	٣٢٥٠–٩٧٧٠
الكرنب	٢٢٣	٤٠–٦٦٧
الجزر	١٢٠٧	١٠٦–٣٢٥٠
الكرفس	١٧٦٠	١٠٤–٣٣١٣
الجريب فروت	٨١	٢٩–١٦٧

تابع جدول (١١–٣).

المحصول	معامل النتح (mg $kg^{-1}s^{-1}mPa^{-1}$)	مدى معامل النتح كما وجد في دراسات متنوعة
العنب	١٢٣	٢١–٢٥٤
الكرات أبو شوشة	٧٩٠	٥٣٠–١٠٤٢
الليمون الأضاليا	١٨٦	١٣٩–٢٢٩
الخس	٧٤٠٠	٦٨٠–٨٧٥٠
البصل (الأبصال)	٦٠	١٣–١٢٣
البرتقال	١١٧	٢٥–٢٢٧
الجزر الأبيض	١٩٣٠	١٠٩٤–٢٧٧١
الخوخ	٥٧٢	١٤٢–٢٠٨٩
الكمثرى	٦٩	١٠–١٤٤
البرقوق	١٣٦	١١٠–٢٢١
البطاطس	٢٥	١٥–٤٠
الروتاباجا	٤٦٩	—
الطماطم	١٤٠	٧١–٣٦٥

جدول (١١–٤): معدل الفقد الرطوبي بعد الحصاد من بعض الخضر الورقية والساقية والزهرية.

المحصول	ظروف التقدير		الفقد المائي
	الحرارة (م)	الرطوبة النسبية (٪)	(على أساس الوزن الطازج)
الخس	١٥	٤٥–٦٥	٧٥٠
السبانخ	١٥	٤٥–٦٥	١١٠٠
الكرسون المائي	١٥	٤٥–٦٥	٣٥٠٠
كرنب بروكسل	١٥	٤٥–٦٥	٢٨٠
الكرنب	٠–٢	٨٥	٥٠

تابع جدول (١١–٤).

المحصول	ظروف التقدير		الفقد المائى
	الحرارة (م)	الرطوبة النسبية (٪)	(على أساس الوزن الطازج)
كرنب شديد الإندماج	١٠	٦٠–٧٥	١٠
الكرات أبو شوشة	١٥	٤٥–٦٥	٩٠
بصل (الأبصال)	١٠	٦٠–٧٥	٢
الأسبرجس	١٠	٦٠–٧٥	٣٦٠
الكرفس	١٥	٤٥–٦٥	٢٨٠
الروبارب	١٠	٦٠–٧٥	٢٣٠
البروكولى	١٥	٤٥–٦٥	٢٤٠
القنبيط	١٥	٤٥–٦٥	١٩٠

جدول (١١–٥): معدل الفقد الرطوبى بعد الحصاد من عدد من الخضر الثمرية والفاكهة (Ben-Yehoshua & Rodov ٢٠٠٣).

المحصول	ظروف التقدير		الفقد المائى (على أساس الوزن الرطب)
	الحرارة (م)	الرطوبة النسبية (٪)	(% loss day⁻¹ Pa wvpd⁻¹)
الفول الرومى	١٥	٤٥–٦٥	٢١٠
فاصوليا ملتى فلورا	١٥	٤٥–٦٦	١٨٠
البسلة	١٥	٤٥–٦٥	١٣٠
بذور البسلة	١٥	٨٠	٢٧٠
ذرة سكرية بدون أغلفة	١٥	٤٥–٦٥	١٤٠
بلاكبرى	١٠	٦٠–٧٥	٥٠
راسبرى	١٠	٦٠–٧٥	٢٥٠
فراولة	١٥	٤٥–٦٥	٧٠
التفاح	صفر	٨٥–٩٠	٧

جدول (١١-٥): معدل الفقد الرطوبى بعد الحصاد من عدد من الخضر الثمرية والفاكهة (Ben-Yehoshua & Rodov ٢٠٠٣).

المحصول	ظروف التقدير: الحرارة (م)	ظروف التقدير: الرطوبة النسبية (٪)	الفقد المائى (على أساس الوزن الرطب) (% loss day^{-1} Pa wvpd^{-1})
الموز	١٢,٥	٩٠	٦
الخيار	١٥	٤٥-٦٥	٤٠
الباذنجان	١١-١٣	٨٧-٩٠	٦٠
الجوافة	٨-١٠	٨٥-٩٠	٣٠
المانجو	٦-٧	٨٥-٩٠	١٠
البرتقال	٣,٣	٨٢-٩٢	٦
الكمثرى	صفر	٨٥-٩٢	٥
الفلفل الأخضر	١٠	٦٠-٧٥	٦
البرقوق	٥	٨٠	١٠
الطماطم	١٠	٦٠-٧٥	١٠

ويمكن خفض الفقد الرطوبى من المنتج أثناء شحنه أو نقله بمراعاة ما يلى:

١- المحافظة على رطوبة نسبية عالية حول المنتج، ويتم ذلك بعدة وسائل كما يلى:

أ- المحافظة على فرق صغير فى درجة الحرارة بين ملفات التبريد والهواء الدوَّار، علمًا بأن الفرق الحرارى الكبير يؤدى إلى تكثف بخار الماء الذى يحمله الهواء على الملفات، فيصبح الهواء جافًا.

ب- تركيب نظام للتحكم فى الرطوبة.

جـ- إضافة الثلج على قمة المنتج أو بين عبواته إذا كان المنتج متحملاً لذلك.

د- تغطية المنتج كله بغطاء نصف منفذ semipermeable للرطوبة.

٢- تقليل نفاذية المنتج للفقد الرطوبى بتغليفه بغطاء شمعى.

٣- خفض حركة الهواء حول المنتج إلى الحد الذى يكفى – فقط – للتخلص من حرارة التنفس دون زيادة.

٤- تقليل الفقد الرطوبى الذى ينتج عن تنفس المنتج، وذلك بسرعة تبريد المنتج أوليًا وبصورة تامة قبل وضعه فى الحاوية؛ لأجل تقليل الفرق الحرارى بين المنتج والهواء المحيط به.

٥- تقليل قدرة الهواء المحيط على حمل الرطوبة، وذلك بالمحافظة على الحرارة منخفضة بصورة دائمة داخل الحاوية أو الشاحنة؛ فالهواء الدافئ يمكن أن يستوعب قدرًا أكبر من الرطوبة التى تصله من المنتج (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

أهمية التبريد

تعد درجة الحرارة أهم عامل مؤثر فى بقاء الخضر والفاكهة بحالة جيدة بعد الحصاد. ونعنى بذلك درجة حرارة مركز المنتج أو لب الثمار. وبمجرد حصاد المنتج يتعين تبريده أوليًا بأسرع ما يمكن ثم حفظه فى أقل حرارة يمكن أن يتحملها، وهى تكون – غالبًا – حرارة أعلى قليلاً من حرارة التجمد بالنسبة للمنتجات غير الحساسة لأضرار البرودة، وحرارة أعلى قليلاً من تلك التى تحدث عندها أضرار البرودة بالنسبة للمنتجات الحساسة لها.

وعلينا أن نتذكر أن تأثير التعرض للحرارة العالية هو تأثير متجمع. وتتناسب شدة الأضرار التى تحدثها الحرارة العالية طرديًا مع مجموع الساعات الحرارية التى تعرض لها المنتج فى حرارة أعلى من تلك التى تناسب تخزينه، سواء أتم ذلك التعرض مرة واحدة بعد الحصاد مباشرة، أم على فترات متقطعة بعد ذلك (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

ومن أهم مظاهر أضرار الحرارة العالية فقدان اللون المميز، واحتراق الأسطح، وعدم تجانس النضج، والطراوة الزائدة، والفقد الرطوبى.

وتعد البرودة بمثابة درجة منخفضة من الحرارة، والتبريد هو طرد الحرارة من المنتج ولا يكون بدفع البرودة فيه.

ويعمل التخزين فى درجة حرارة منخفضة على تثبيط كلٍّ من:

١- التنفس والأنشطة الحيوية الأخرى.

٢- التدهور الذى يحدث مع زيادة النضج وفقدان الثمار لصلابتها والتغيرات فى القوام واللون.

٣- الفقد فى الرطوبة والذبول.

٤- التلف الناتج من الإصابة بالبكتيريا والفطريات والخمائر.

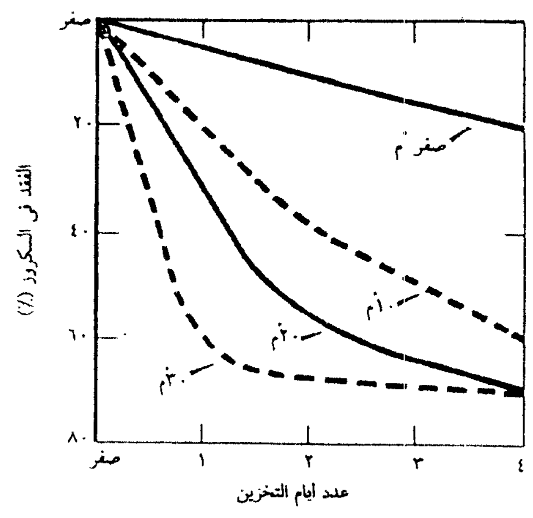
٥- النموات غير المرغوبة، كما يحدث فى البصل والبطاطس.

وكما أسلفنا .. فإن سرعة التنفس تتضاعف من ١-٥ مرات مع كل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية بين الصفر المئوى و ٣٥°م. وتصاحب ذلك زيادة فى معدل التدهور سبق تناولها بالشرح كذلك. ونكتفى – فى هذا المقام – بمثالين يوضحان التغير فى معدل التدهور فى السبانخ (جدول ١١-٦)، وفى الفقد فى نسبة السكر فى الذرة السكرية (شكل ١١-١)، مع التغير فى درجة حرارة التخزين.

جدول (١١-٦): معدل التدهور فى السبانخ مع التغير فى درجة الحرارة (عن Claypool وآخرين ١٩٥٨).

درجة الحرارة (°م)	فترة التخزين	معدل التدهور نسبة إلى التدهور فى الصفر المئوى (ضعف)
صفر	٦٦	١
٥	٤٢	١,٥
١٠	١٣	٥
١٥	٧	٩
٢٠	٤	١٦
٢٥	٣	٢١
٣٠	٢	٣١

ومن الأهمية بمكان أن تكون درجة حرارة المخزن متجانسة تمامًا؛ إذا إن عدم التجانس يعنى أن الثمار الموجودة فى حرارة مرتفعة تنضج أسرع من غيرها؛ وبالتالى يحدث خلط لثمار فى درجات مختلفة من النضج. وقد تصبح بعض الثمار زائدة النضج، وتبدأ فى التعفن.



شكل (١١-١): النسبة المئوية للفقد فى محتوى الذرة السكرية من السكروز أثناء التخزين فى درجات الحرارة المختلفة (عن Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

ويمكن تحقيق التجانس فى درجة حرارة المخزن بالعناية بترتيب العبوات واستعمال مبردات جيدة، وبقراءة درجة الحرارة فى أماكن مختلفة من المخزن بصفة دورية. كما تجب قراءة الحرارة فى وسط العبوات أيضًا.

كذلك يجب العمل على تحريك هواء المخزن بصورة مستمرة؛ لأن الفشل فى تحقيق ذلك يؤدى إلى اختلاف فى درجة الحرارة فى الأجزاء المختلفة من المخزن. وبعد تبريد المنتج والتخلص من حرارة الحقل يكفى أن يكون تحرك الهواء خلال المنتج بسرعة ٢٠-٢٥ مترًا فى الدقيقة؛ للتخلص من الحرارة الناتجة من التنفس. والحرارة التى تدخل من الأبواب المفتوحة. هذا .. ولا تعد سرعة الهواء الذى يتخلل المنتجات كافية

إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارج من المخزن أعلى بأكثر من ١ °م عن حرارة الهواء الداخل إليه.

ويتبع الهواء أثناء تحركه المسارات التي يجد فيها أقل مقاومة؛ وعليه .. فإن عدم تجانس ترتيب العبوات قد يؤدى إلى حدوث عدم تجانس في درجة حرارة المخزن؛ حيث يمر الهواء بمعدلات أكبر في الممرات الواسعة. ولهذا السبب يجب تجنب عمل ممرات واسعة في اتجاه تيار الهواء، كما يجب ترك مسافة ٥-٨ سم بين الصناديق المرتبة فوق بعضها، وأن يكون تيار الهواء في اتجاه الصفوف، وليس متعامدًا عليها. كذلك يجب ترك مسافة ١٠-٢٠ سم على امتداد الحوائط الجانبية لتسهيل مرور الهواء على الجوانب أيضًا.

وتجب المحافظة على التبريد في كل مراحل تداول المنتج؛ فيما يعرف بسلسلة التبريد cold chain.

ويمكن تقسيم سلسلة التبريد إلى أربع مراحل تحتاج كل منها إلى إدارة جيدة ومستقلة؛ ليمكن المحافظة على السلسلة، وهي كما يلي:

١- الحصاد الحقلي والنقل إلى محطة التعبئة.

٢- وصول المنتج لمحطة التعبئة. وتعبئته. وتجهيزه في بالتات.

٣- التبريد الأولى.

٤- التخزين المبرد.

٥- الشحن.

ومن بين الأمور التي يجب توخيها للمحافظة على سلسلة التبريد ما يلي:

١- نقل المحصول في سيارات النقل إلى محطة التعبئة في مواعيد منتظمة وعدم الانتظار أكثر من اللازم لحين امتلائها.

٢- قصر الحصاد على الفترات الباردة من اليوم. فذلك يسمح ببعض التأخير لحين التبريد في حالة الضرورة.

٣- بقاء المحصول فى مكان مظلل حتى وهو داخل سيارات النقل لأجل المحافظة على حرارته من الارتفاع بفعل أشعة الشمس.

٤- يفيد تركيب وتشغيل شبكة للتبريد بالرذاذ الدقيق misting فى المكان المظلل فى بقاء حرارة المنتج منخفضة نسبيًا لحين نقله إلى محطة التعبئة.

٥- لا يجب الاعتماد على وسائل النقل المبردة فى تبريد المنتج الذى ترتفع حرارته؛ ذلك لأن قدرة تلك السيارات على التبريد منخفضة، وقد تبقى حرارة المنتج فيها عالية لفترة طويلة، خاصة إن لم تكن فتحات التهوية بالكراتين متوافقة مع نظام تيار الهواء البارد المندفع من الحاوية.

٦- يفضل – دائمًا – ضبط درجة الحرارة بالحاوية عند الدرجة المثلى للمنتج أو أقل منها بقليل.

٧- يجب ضبط سرعة تيار الهواء البارد بالمخازن لتكون حوالى ١٠٠ قدم مكعب فى الدقيقة لكل طن من المنتج (أو نحو ٠,٠٤٧م^{3} فى الثانية لكل طن من المنتج).

٨- يلاحظ أن فحص المنتج للأغراض الجمركية لا يتم فى أماكن مبردة؛ لذا .. يلزم الانتهاء منه بسرعة للمحافظة على سلسلة التبريد.

٩- بوضع جهاز لتسجيل درجة الحرارة خلال جميع مراحل تداول وانتقال المنتج، يمكن التعرف على مواضع الضعف التى تنحرف فيها الحرارة عن تلك الموصى بها؛ بما يسمح بوضع الحلول المناسبة لها (عن Thompson ١٩٩٨).

هذا .. ويصاحب إخراج المنتجات من المخزن تكثُّف بخار الماء على المنتج، وهى الظاهرة التى تعرف باسم "التعرق" sweating. ويزداد التعرق بزيادة الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى. وهذه الظاهرة ضارة، ويجب الحد منها قدر المستطاع؛ حتى لا تساعد على انتشار العفن. ويتم ذلك بالسماح للمنتجات المخزنة بأن تفقد برودتها بصورة تدريجية، أو بإخراجها من المخزن فى الأوقات التى تقل فيها الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى. هذا .. ويمكن الإسراع فى تخليص المنتجات من بخار الماء المتكثف عليها بتعريضها لتيار من الهواء.

ظروف التخزين الملائمة للحاصلات البستانية

يوضح جدول (١١–٧) درجات الحرارة والرطوبة النسبية الملائمة لتخزين مختلف الحاصلات البستانية، مع بيان فترة التخزين التى تظل خلالها الخضر بحالة جيدة تحت هذه الظروف، وكذلك درجة حرارة التجمد وظروف الجو المتحكم فيه (CA) المناسبة لكل محصول منها.

تقسيم محاصيل الخضر حسب درجات الحرارة والرطوبة النسبية المناسبة لتخزينها

يمكن تقسيم محاصيل الخضر – حسب درجات الحرارة والرطوبة النسبية المناسبة لتخزينها – إلى ثلاث مجموعات، كما يلى:

أولاً: الخضر الورقية والغضة الساقية والزهرية:

١– الخضر الورقية: تتضمن الخس، والكرنب، والكرنب الصينى، والكرنب بروكسل، والكرفس، والروبارب، والسبانخ، والسلق، والكيل، والهندباء، والبقدونس، والبصل الأخضر.

٢– الخضر الساقية: تتضمن الأسبرجس، وكرنب أبو ركبة، والفينوكيا.

٣– الخضر الزهرية: تتضمن الخرشوف، والبروكولى، والقنبيط.

يتطلب تخزين هذه الخضروات سرعة تبريدها إلى ١ ± ١°م، مع تجنب تعريضها للتجمد، ثم تخزينها تحت نفس الظروف الحرارية، مع رطوبة نسبية ٩٠٪–٩٥٪.

ولا يوصى بتخزين خضروات هذه المجموعة لفترات طويلة باستثناء الكرنب، والكرنب الصينى، والكرفس.

ويتعين تحريك هواء المخزن بين الخضر المخزنة للمحافظة على درجة الحرارة المطلوبة، مع التخلص من غاز ثانى أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس أولاً بأول، وتأمين مستوى مناسب من الأكسجين، وعدم تعريض الخضروات المخزنة لغاز الإثيلين.

جدول (١١-٧): ظروف التخزين الملائمة للحاصلات البستانية الطازجة (خضر وفاكهة وأعشاب).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (°م)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (°م)	إنتاج الإيثيلين	الحساسية للإيثيلين	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
الأمارنث (رجل الأوز)	*Amaranthus* spp.	صفر-٢	٩٥-١٠٠		VL	M	١٠-١٤ يوم	
الينسون	*Foeniculum vulgare*	صفر-٢	٩٠-٩٥	-١.١			٢-٣ أسابيع	
التفاح غير الحساس للبرودة	*Malus pumila*	صفر إلى -١.١	٩٠-٩٥	-١.٥	VH	H	٣-٦ أشهر	2-3% O_2 + 1-2% CO_2
التفاح الحساس للبرودة		٤	٩٠-٩٥	-١.٥	VH	H	١-٢ شهر	
المشمش	*Prunus armeniaca*	صفر إلى -٠.٥	٩٠-٩٥	-١.١	M	M	١-٣ أسابيع	2-3% O_2 + 2-3% CO_2
الخرشوف	*Cynara scolymus*	—	٩٥-١٠٠	-١.٢	VL	L	٢-٣ أسابيع	2-3% O_2 + 3-5% CO_2
الطرطوفة	*Helianthus tuberosus*	صفر - ٠.٥	٩٠-٩٥	-٢.٥	VL	L	٤ أشهر	
الجرجير	*Eruca vesicaria* var. *sativa*	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	٧-١٠ أيام	
الأسبرجس	*Asparagus officinalis*	٢.٥	٩٥-١٠٠	-٠.٦	VL	M	٢-٣ أسابيع	5-12% CO_2 in air
الزبدية		٣-٧	٨٥-٩٠	-١.٦	H	H	٢-٤ أسابيع	2-5% O_2 + 3-10% CO_2
الموز	*Musa paradisiaca* var. *sapientum*	١٣-١٥	٩٠-٩٥	-٠.٨	M	H	١-٤ أسابيع	2-5% O_2 + 2-5% CO_2
الفاصوليا الخضراء	*Phaseolus vulgaris*	٤-٧	٩٥	-٠.٧	L	M	٧-١٠ أيام	2-3% O_2 + 4-7% CO_2
الفول الرومى	*Vicia faba*	صفر	٩٠-٩٥				١-٢ أسبوع	
فاصوليا الليما	*Phaseolus lunatus*	٥-٦	٩٥	-٠.٦	L	M	٥-٧ أيام	
الفاصوليا المجنحة	*Psophocarpus tetragonolobus*	١٠	٩٠				٤ أسابيع	
اللوبيا الهليونية	*Vigna sesquipedalis*	٤-٧	٩٠-٩٥		L	M	٧-١٠ أيام	

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (م°)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (م°)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
البنجر	*Beta vulgaris*	صفر	٩٨-١٠٠	-٠.٩	VL	L	٤ شهور	
بلاكبرى	*Rubus* spp.	صفر إلى -٠.٥	٩٠-٩٥	-٠.٨	L	L	٣-٦ أيام	5-10% O_2 + 15-20% CO_2
بلوبرى	*Vaccinium corymbosum*	صفر إلى -٠.٥	٩٠-٩٥	-١.٣	L	L	١٠-١٨ يوم	2-5% O_2 + 12-20% CO_2
راسبرى	*Rubus idaeus*	صفر إلى -٠.٥	٩٠-٩٥	-٠.٩	L	L	٣-٦ أيام	5-10% O_2 + 15-20% CO_2
فراولة	*Fragaria* spp.	صفر	٩٠-٩٥	-٠.٨	L	L	٧-١٠ أيام	5-10% O_2 + 15-20% CO_2
الشمام المر	*Momordica charantia*	١٠-١٢	٨٥-٩٠		L	M	٢-٣ أسابيع	2-3% O_2 + 5% CO_2
السلسفيل	*Scorzonera hispanica*	صفر-١	٩٥-٩٨		VL	L	٦ شهور	
باك شوى	*Brassica chinensis*	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	٣ أسابيع	
البروكولى	*B. oleracea* var. *italica*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠.٦	VL	H	١٠-١٤ يوم	1-2% O_2 + 5-10% CO_2
كرنب بروكسل	*Brassica oleracea* var. *gemmifera*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠.٨	VL	H	٣-٥ أسابيع	1-2% O_2 + 5-7% CO_2
الكرنب الصينى	*Brassica campestris* var. *pekinensis*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠.٩	VL	M-H	٢-٣ شهور	1-2% O_2 + 5% CO_2
الكرنب	*B. oleracea* var. *capitata*	صفر	٩٨-١٠٠	-٠.٩	VL	H	٣-٦ أسابيع	
الجزر	*Daucus carota*	صفر	٩٨-١٠٠	-١.٤	VL	H	٣-٦ شهور	لا يستفيد من الـ CA
الكاسافا	*Manihot esculenta*	صفر-٥	٨٥-٩٠		VL	L	١-٢ شهر	لا يستفيد من الـ CA
القنبيط	*Brassica oleracea* var. *botrytis*	صفر	٩٥-٩٨	-٠.٨	VL	H	٣-٤ أسابيع	2-5% O_2 + 2-5% CO_2

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (م)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (م)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
السيليرياك	*Apium graveolens* var. *rapaceum*	صفر	٩٨-١٠٠	-٠.٩	VL	L	٦-٨ شهور	2-4% O_2 + 2-3% CO_2
الكرفس	*Apium graveolens* var. *dulce*	صفر	٩٨-١٠٠	-٠.٥	VL	M	١-٢ شهر	1-4% O_2 + 3-5% CO_2
السلق	*Beta vulgaris* var. *cicla*	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	١٠-١٤ يوم	
الشايوت	*Sechium edule*	٧	٨٥-٩٠				٤-٦ أسابيع	
الكريز	*Prunus avium*	صفر إلى -١	٩٠-٩٥	-٢.١	VL	L	٢-٣ أسابيع	10-20% O_2 + 20-25% CO_2
الشكوريا	*See Endive*	صفر						
البروكولى الصينى	*Brassica alboglabra*	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	١٠-١٤ يوم	
الشيف	*Allium schoenoprasum*	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	٢-٣ أسابيع	5-10% O_2 + 5-10% CO_2
الجريب فروت	*Citrus paradisi*	١٤-١٥	٨٥-٩٠	-١.١	VL	M	٦-٨ أسابيع	
الليمون الأضاليا	*Cirus limon*	١٠-١٣	٨٥-٩٠	-١.٤			١-٦ شهور	5-10% O_2 + 0-10% CO_2
الليمون البنزهير	*Citrus aurantifolia; C. latifolia*	٩-١٠	٨٥-٩٠	-١.٦			٦-٨ أسابيع	5-10% O_2 + 0-10% CO_2
البرتقال	*Citrus sinensis*	٣-٩	٨٥-٩٠	-٠.٨	VL	M	٣-٨ أسابيع	5-10% O_2 + 0-5% CO_2
برتقال بدمه		٤-٧	٩٠-٩٥	-٠.٨			٣-٨ أسابيع	
اليوسفى	*Citrus reticulata*	٤-٧	٩٠-٩٥	-١.١	VL	M	٢-٤ أسابيع	
جوز الهند	*Cocos nucifera*	صفر - ٢	٨٠-٨٥	-٠.٩			١-٢ شهر	
الكولارد	*B. oleracea* var. *acephala*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠.٥	VL	H	١٠-١٤ يوم	

تابع جدول (١١–٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (°م)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (°م)	إنتاج الإثيلين	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
الذرة السكرية والبيبى	*Zea mays*	صفر	٩٨–٩٥	٠,٦–	VL	L	٨–٥ أيام	2-4% O_2 + 5-10% CO_2; to 4 wks, 5-10% O_2 + 15% CO_2
الخيار	*Cucumis sativus*	١٢–١٠	٩٠–٨٥	٠,٥–	L	H	١٤–١٠ يوم	3-5% O_2 + 0-5% CO_2
الفجل الشرقى	*Raphanus sativus*	صفر إلى ١	١٠٠–٩٥		VL	L	٤ أشهر	
البلح	*Phoenix dactylifera*	صفر إلى –١٨	٧٥	١٥,٧–	VL	L	١٢–٦ أسبوع	
الباذنجان	*Solanum melongena*	١٢–١٠	٩٥–٩٠	٠,٨–	L	M	١٢–١ أسبوع	3-5% O_2 + 0% CO_2
الهندباء	*Cichorium endivia*	صفر	١٠٠–٩٥	٠,١–	VL	M	٤–٢ أسابيع	
الهندباء البلجيكية	*Cichorium intybus*	٣–٢	٩٨–٩٥		VL	M	٤–٢ أسابيع	الضوء يسبب الاخضرار 3-4% O_2 + 4-5% CO_2
التين	*Ficus carica*	صفر إلى ٠,٥	٩٠–٨٥	٢,٤–	M	L	١٠–٧ أيام	5-10% O_2 + 15-20% CO_2
الثوم (أبصال)	*Allium sativum*	صفر إلى –١	٧٠–٦٥	٢,٠–	VL	L	٧–٦ شهور	0.5% O_2 + 5-10% CO_2
الزنجبيل	*Zingiber officinale*	١٣	٦٥		VL	L	٦ شهور	لا يستفيد من الـ CA
العنب	*Vitis vinifera a=fruit; b=stem*	صفر إلى –٠,٥	٩٥–٩٠	٢,٧– a ٢,٠– b	VL	L	٦–١ شهور	2-5% O_2 + 1-3% CO_2; to wks, 5-10% O_2 + 10-15 CO_2
الجوافة	*Psidium guajava*	١٠–٥	٩٠		L	M	٣–٢ أسابيع	
الريحان	*Ocimum basilicum*	١٠	٩٠		VL	H	٧ أيام	2% O_2 + 0 to<10% CO_2

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (م°)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (م°)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
الشيف	*Allium schoenoprasum*	صفر	٩٥-١٠٠	٠,٩-	L	M		
البقدونس الصينى	*Coriandrum sativum*	صفر-١	٩٥-١٠٠		VL	H	٢ أسبوع	3% O_2 + 7-10% CO_2; air + 7-10 CO_2
الشبت	*Anethum graveolens*	صفر	٩٥-١٠٠	٠,٧-	VL	H	١-٢ أسبوع	5-10% O_2 + 5-10 CO_2
النعناع	*Mentha* spp.	صفر	٩٥-١٠٠		VL	H	٢-٣ أسبوع	5-10% O_2 + 5-10 CO_2
أوريجانو	*Origanum vulgare*	صفر - ٥	٩٠-٩٥		VL	M	١-٢ أسبوع	
البقدونس	*Petroselinum crispum*	صفر	٩٥-١٠٠	١,١-	VL	H	١-٢ شهر	5-10% O_2 + 5-10% CO_2
المريمية	*Salvia officinalis*	صفر	٩٠-٩٥				٢-٣ أسابيع	
الزعتر	*Thymus vulgaris*	صفر	٩٠-٩٥				٢-٣ أسابيع	
فجل الحصان	*Armoracia rusticana*	صفر إلى -١	٩٨-١٠٠	١,٨-	VL	L	١٠-١٢ شهر	
الكيوى	*Actinidia chinensis*	صفر	٩٠-٩٥	٠,٩-	L	H	٣-٥ أشهر	1-2% O_2 + 3-5% CO_2
كرنب أبو ركبة	*Brassica oleracea* var. *gongylodes*	صفر	٩٨-١٠٠	١,٠-	VL	L	٢-٣ شهور	لا يستفيد من الـ CA
الخضر الورقية الشتوية	عدة أجناس	صفر	٩٥-١٠٠	٠,٦-	VL	H	١٠-١٤ يوم	
الخضر الورقية الصيفية	عدة أجناس	٧-١٠	٩٥-١٠٠	٠,٦-	VL	H	٥-٧ أيام	
الكرات	*Allium porrum*	صفر	٩٥-١٠٠	٠,٧-	VL	M	٢ شهر	1-2% O_2 + 2-5% CO_2
الخس	*Lactuca sativa*	صفر	٩٨-١٠٠	٠,٢-	VL	H	٢-٣ أسابيع	2-5% O_2 + 0% CO_2
اللوف	*Luffa* spp.	١٠-١٢	٩٠-٩٥		L	M	١-٢ أسبوع	

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (م)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (م)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
اللتشية	*Lichi chinensis*	١-٢	٩٠-٩٥		M	M	٣-٥ أسابيع	3-5% O_2 + 3-5% CO_2
المانجو	*Mangifera indica*	١٣	٨٥-٩٠	-١,٤	M	M	٢-٣ أسابيع	3-5% O_2 + 5-10% CO_2
الكنتالوب الشبكى	*Cucurbita melo* var. *reticulatus*	٢-٥	٩٥	-١,٢	H	M	٢-٣ أسابيع	3-5% O_2 + 10-15% CO_2
شهد العسل	*Cucurbita melo*	٥-١٠	٨٥-٩٠	-١,١	M	H	٣-٤ أسابيع	3-5% O_2 + 5-10% CO_2
عيش الغراب	*Agaricus*, other genera	صفر	٩٠	-٠,٩	VL	M	٧-١٤ يوم	3-21% O_2 + 5-15% CO_2
المسترد	*Brassica juncea*	صفر	٩٠-٩٥		VL	H	٧-١٤ يوم	
النكتارين	*Prunus persica*	-٠,٥ إلى صفر	٩٠-٩٥	-٠,٩	M	M	٢-٤ أسابيع	1-2% O_2 + 3-5% CO_2;
البامية	*Abelmoschus esculentus*	٧-١٠	٩٠-٩٥	-١,٨	L	M	٧-١٠ أيام	air + 4-10% CO_2
الزيتون	*Olea europea*	٥-١٠	٨٥-٩٠	-١,٤	L	M	٤-٦ أسابيع	2-3% O_2 + 0-1% CO_2
البصل (الأبصال)	*Allium cepa*	صفر	٦٥-٧٠	-٠,٨	VL	L	١-٨ شهور	1-3% O_2 + 5-10% CO_2
البصل الأخضر	*Allium cepa*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٩	L	H	٣ أسابيع	2-4% O_2 + 10-20% CO_2
الباباظ	*Carica papaya*	٧-١٣	٨٥-٩٠	-٠,٩	M	M	١-٣ أسابيع	2-5% O_2 + 5-8% CO_2
الجزر الأبيض	*Pastinaca sativa*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٩	VL	H	٤-٦ أشهر	الإثيلين يسبب المرارة
الخوخ	*Prunus persica*	-٠,٥ إلى صفر	٩٠-٩٥	-٠,٩	M	M	٢-٤ أسابيع	1-2% O_2 + 3-5% CO_2
الكمثرى	*Pyrus communis*	-١,٥ إلى -٠,٥	٩٠-٩٥	-١,٧	H	H	٢-٧ أشهر	تتباين الأصناف 1-3% O_2 + 0-5% CO_2

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (مْ)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (مْ)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
البسلة والبسلة السكرية	*Pisum sativum*	صفر	٩٠-٩٨	-٠,٦	VL	M	١-٢ أسبوع	2-3% O_2 + 2-3% CO_2
اللوبيا	*Vigna sinensis = V. unguiculata*	٤-٥	٩٥				٦-٨ أيام	
القلفل الحلو	*Capsicum annuum*	٧-١٠	٩٥-٩٨	-٠,٧	L	L	٢-٣ أسابيع	2-5% O_2 + 2-5% CO_2
القلفل الحريف	*Capsicum annuum and C.*	٥-١٠	٨٥-٩٥	-٠,٧	L	M	٢-٣ أسابيع	3-5% O_2 + 5-10% CO_2
	frutescens							
الأناناس	*Ananas comosus*	٧-١٣	٨٥-٩٠	-١,١	L	L	٢-٤ أسابيع	2-5% O_2 + 5-10% CO_2
البرقوق	*Prunus domestica*	صفر إلى -٠,٥	٩٠-٩٥	-٠,٨	M	M	٢-٥ أسابيع	1-2% O_2 + 0-5% CO_2
الرمان	*Punica granatum*	٥-٧,٢	٩٠-٩٥	-٣,٠	VL	L	٢-٣ شهور	3-5% O_2 + 5-10% CO_2
البطاطس المبكرة	*Solanum tuberosum*	١٠-١٥	٩٠-٩٥	-٠,٨	VL	M	١٠-١٤ يوم	لا تستفيد من الـ CA
البطاطس المتأخرة		٤-٨	٩٥-٩٨	-٠,٨	VL	M	٥-١٠ شهور	لا تستفيد من الـ CA
القرع العسلى	*Cucurbita maxima*	١٢-١٥	٥٠-٧٠	-٠,٨	L	M	٢-٣ شهور	
السفرجل	*Cydonia oblonga*	صفر إلى -٠,٥	٩٠	-٢,٠	L	H	٢-٣ شهور	
الشيكوريا	*Cichorium intybus*	صفر - ١	٩٥-١٠٠				٤-٨ أسابيع	
الفجل	*Raphanus sativus*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٧	VL	L	١-٢ شهر	1-2% O_2 + 2-3% CO_2
الروبارب	*Rheum rhaponticum*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٩	VL	L	٢-٤ أسابيع	
الروتاباجا	*Brassica napus var. napobrassica*	صفر	٩٨-١٠٠	-١,١	VL	L	٤-٦ شهور	
السلسفيل	*Trapopogon porrifolius*	صفر	٩٥-٩٨	-١,١	VL	L	٢-٤ شهور	

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (م°)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (م°)	إنتاج الإثيلين	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
الشالوت	*Allium cepa* var. *ascalonicum*	صفر — ٢,٥	٦٥-٧٠	-٠,٧	L	L		
السبانخ	*Spinacia oleracea*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٣	VL	H	١٠-١٤ يوم	5-10% O_2 + 5-10% CO_2
نبت بذور البرسيم الحجازى	*Medicago sativa*	صفر	٩٥-١٠٠				٧ أيام	
نبت بذور الفاصوليا	*Phaseolus* sp.	صفر	٩٥-١٠٠				٧-٩ أيام	
نبت بذور الفجل	*Raphanus* sp.	صفر	٩٥-١٠٠				٥-٧ أيام	
الكوسة	*Cucurbita pepo*	٧-١٠	٩٥	-٠,٥	L	M	١-٢ أسبوع	3-5% O_2 + 5-10% CO_2
قرع الشتاء	*Cucurbita moschata*; *C. maxima*	١٢-١٥	٥٠-٧٠	-٠,٨	L	M	٢-٣ شهور	اختلافات كبيرة بين الأصناف
البطاطا	*Ipomea batatas*	١٣-١٥	٨٥-٩٥	-١,٣	VL	L	٤-٧ أسابيع	
شجرة الطماطم	*Cyphomandra betacea*	٣-٤	٨٥-٩٥		L	M	١٠ أسابيع	
التمر هندى	*Tamarindus indica*	٢-٧	٩٠-٩٥	-٣,٧	VL	VL	٣-٤ أسابيع	
القلقاس	*Colocasia esculenta*	٧-١٠	٨٥-٩٠	-٠,٩			٤ أشهر	لا يستفيد من الـ CA
الحرنكش	*Physalis ixocarpa*	٧-١٣	٨٥-٩٠		VL	M	٣ أسابيع	
طماطم خضراء مكتملة التكوين	*Solanum lycopersicum*	١٠-١٣	٩٠-٩٥	-٠,٥	VL	H	٢-٥ أسابيع	3-5% O_2 + 2-3% CO_2
طماطم حمراء ناضجة		٨-١٠	٨٥-٩٠	-٠,٥	H	L	١-٣ أسابيع	3-5% O_2 + 3-5% CO_2
لفت	*Brassica campestris* var. *rapifera*	صفر	٩٥	-١,٠	VL	L	٤-٥ أشهر	
كرسون الحديقة والكرسون المائى	*Lepidium sativum*; *Nasturtium officinales*	صفر	٩٥-١٠٠	-٠,٣	VL	H	٢-٣ أسابيع	

تابع جدول (١١-٧).

الاسم العادى	الاسم العلمى	حرارة التخزين (°م)	الرطوبة النسبية (%)	حرارة التجمد (°م)	إنتاج الإثيلين*	الحساسية للإثيلين**	فترة التخزين	ظروف الـ CA المناسبة
البطيخ	*Citrullus vulgaris*	١٠-١٥	٩٠	-٠.٤	VL	H	٢-٣ أسابيع	لا يستفيد من الـ CA
اليام	*Discorea* spp.	١٥	٧٠-٨٠	-١.١	VL	L	٢-٧ أشهر	

* معدل إنتاج الإثيلين

VL = very low (<0.1 µL/kg-hr at 20°C)

L = low (0.1=1.0 µL/kg-hr)

M = moderate (1.0-10.0 µL/kg-hr)

H = high (10-100 µL/kg-hr)

VH = very high (> 100 µL/kg-hr)

** الحساسية للإثيلين

L = Low sensitivity

M = moderately sensitive

H= highly sensitive

ثانيًا: الخضر الجذرية، والساقية المتدرنة، والبصلية:

١- الخضر الجذرية: تتضمن البنجر، والجزر، والفجل، وفجل الحصان، والجزر الأبيض، واللفت، والبطاطا، والكاسافا.

٢- الخضر الساقية المتدرنة: تتضمن البطاطس، والطرطوفة، واليام، والقلقاس.

٣- الخضر البصلية: تتضمن البصل والثوم.

ويناسب تخزين هذه المحاصيل الظروف التالية:

١- تخزن الخضر الجذرية من محاصيل المواسم الباردة (مثل: البنجر، والجزر، والفجل، وفجل الحصان، والجزر الأبيض، واللفت) فى حرارة الصفر المئوى، مع رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٥٪ ٩٨٪، والتهوية الجيدة للتخلص من الحرارة وثانى أكسيد الكربون الناتجين من التنفس.

٢- يمكن تخزين البطاطس لمدة ١٠-١٢ شهرًا، ولكن تتوقف ظروف التخزين المناسبة على الهدف الذى يخزن من أجله المحصول؛ فالبطاطس التى تخزن لأجل التسويق الطازج يناسبها حرارة ٤-٧°م، و ٩٥٪-٩٨٪ رطوبة نسبية، والتهوية الجيدة (بمعدل ٠,٠٢م٣ هواء فى الدقيقة/٤٥ كجم من البطاطس المخزنة) لمنع تراكم غاز ثانى أكسيد الكربون، والإظلام التام لمنع اخضرار الدرنات.

أما البطاطس التى تخزن لأجل التصنيع (مثل صناعة الشبس) فيناسبها حرارة ٨-١٢°م، ورطوبة نسبية من ٩٥٪-٩٨٪، والتهوية الجيدة، والإظلام التام كذلك.

ويناسب البطاطس التى تخزن لأجل استعمالها كتقاوٍ حرارة صفر-٢°م، ورطوبة نسبية ٩٥٪-٩٨٪، وتهوية جيدة.

٣- تتوقف حرارة التخزين المناسبة للثوم على طول فترة التخزين المطلوبة؛ فهى صفر°م عند الرغبة فى تخزين المحصول لمدة ٦- ٧ شهور، و ٢٨-٣٠°م إذا كان التخزين لمدة لا تزيد على الشهر. وفى كل الأحوال يجب كذلك توفير ٧٠٪ رطوبة نسبية، وتهوية بمعدل متر مكعب واحد من الهواء فى الدقيقة لكل متر مكعب من محصول الثوم المُخزّن.

٤- تتوقف فترة تخزين البصل المكنة على كلٍّ من الصنف ودرجة حرارة التخزين؛ فتتراوح الفترة من شهر واحد بالنسبة للأصناف القليلة الحرافة – التى تنخفض فيها نسبة المواد الصلبة – إلى ٦-٧ شهور بالنسبة للأصناف العالية الحرافة التى ترتفع فيها نسبة المواد الصلبة. ويجب أن يكون التخزين إما فى حرارة منخفضة (صفر-٥°م)، وإما فى حرارة مرتفعة (٢٨-٣٠°م)؛ لأن الحرارة المعتدلة تحفز تنبيت الأبصال.

كذلك يجب أن تتوفر فى مخازن البصل رطوبة نسبية تتراوح بين ٦٥٪، و ٧٠٪، وتهوية جيدة بمعدل ٠,٥-١,٠م^3 من الهواء فى الدقيقة لكل متر مكعب من البصل المُخزَّن، مع عدم تعريض الأبصال للضوء.

٥- وتخزن الخضر الجذرية الاستوائية فى الظروف التالية:

المحصول	درجة الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (%)	مدة التخزين
الكاسافا	٥-٨	٨٠-٩٠	٢-٤ أسابيع
البطاطا	١٢-١٤	٨٥-٩٠	٦ شهور على الأقل
القلقاس	١٣-١٥	٨٥-٩٠	٤ شهور على الأقل
اليام	١٣-١٥	قريبًا من ١٠٠٪	٦ شهور على الأقل

ثالثًا: الخضر الثمرية:

١- الثمار غير المكتملة التكوين: تتضمن البقوليات (فاصوليا الليما، والفاصوليا العادية، والبسلة، واللوبيا)، والخيار، والكوسة، والباذنجان، والفلفل، والبامية، والذرة السكرية.

٢- الثمار المكتملة التكوين: تتضمن القاوون، والبطيخ، والقرع العسلى والطماطم.

تعتبر معظم خضروات هذه المجموعة حساسة للبرودة (الحرارة الأقل من ١٢,٥°م)، ويتوقف مقدار الضرر على مدى الانخفاض فى درجة الحرارة، وطول فترة التعرض للحرارة، والمحصول ذاته.

وتكون ظروف التخزين المناسبة كما يلى:

١– الثمار المكتملة التكوين:

أ– الطماطم الخضراء المكتملة التكوين والقرع العسلى: ١٣–١٥.٥°م.

ب– الطماطم الملونة جزئيًا، والقاوون الشبكى، وشهد العسل فى بداية مراحل اكتمال النضج: ٥–٧°م.

جـ – الطماطم المكتملة النضج والبطيخ: ٧–١٠°م.

د– القاوون المكتمل النضج: ٤–٦°م.

٢– الثمار غير المكتملة التكوين:

أ– الباذنجان، والخيار، والكوسة، والبامية: ١٠–١٣°م.

ب– الفلفل: ٥–٧°م.

جـ– فاصوليا الليما، والفاصوليا العادية، واللوبيا: ٥–٨°م.

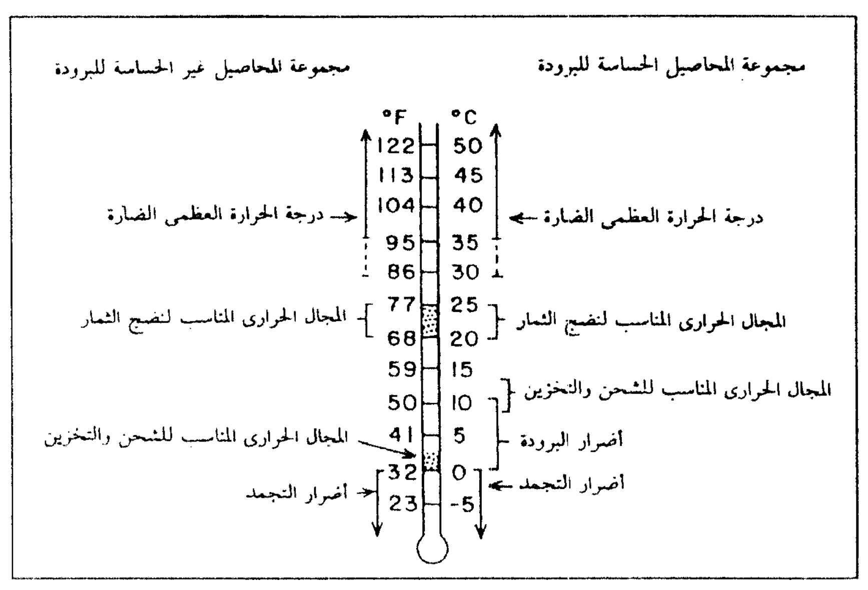
د– البسلة، والفول الرومى، والذرة السكرية: صفر°م.

ويناسب جميع الخضروات رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠٪ و ٩٥٪، فيما عدا القرع العسلى الذى تناسبه رطوبة نسبية تتراوح بين ٦٠٪ و ٧٠٪.

حرارة التخزين المناسبة للخضر حسب حساسيتها للبرودة

يبين شكل (١١–٢) الظروف الحرارية المناسبة لتخزين مختلف الخضروات، مقسمة حسب كونها حساسة للبرودة، أم غير حساسة لها.

ويمكن إجمالاً القول بأن الذرة السكرية وجميع خضر الجو البارد تخزن فى درجة الصفر المئوى، وتستثنى من ذلك البطاطس التى يفضل تخزينها فى حرارة ٤°م. أما خضر الجو الدافئ، فيفضل تخزينها فى حرارة ٧–١٠°م؛ لأن انخفاض درجة الحرارة عن ذلك يؤدى إلى تعرضها لأضرار البرودة.



شكل (١١-٢): الظروف الحرارية المناسبة لتخزين مختلف الخضروات حسب كونها حساسة للبرودة (مثل: الفاصوليا الخضراء، والخيار، والباذنجان، والقاوون، والبامية، والفلفل، والبطاطس، والموز، والجوافة، والمانجو، والزيتون، والباباظ والأناناس، والزبدية، والقرع العسلى، وقرع الكوسة، والبطاطا، والطماطم، والبطيخ)، أم غير حساسة لها (مثل: التفاح والمشمش، والكريز، والتين، والعنب، والنكتارين، والخوخ، والكمثرى، والخرشوف، وفاصوليا الليما، والبنجر والبروكولى، وكرنب بروكسل، والكرنب، والجزر، والكاكى، والبرقوق، والفراولة، والأسبرجس، والقنبيط، والكرفس، والذرة السكرية، والثوم، والخس، والبصل، والبسلة، والفجل، والسبانخ، واللفت) (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

التخزين المختلط

يمكن تقسيم الخضر والفاكهة إلى ثلاث فئات تبعًا لدرجة الحرارة المناسبة لتخزينها. يجب أن تتراوح الرطوبة النسبية فى هواء المخزن بين ٨٥٪، و ٩٥٪. إلا أن المنتجات التى تخزن فى حرارة شديدة الانخفاض يجب أن تبقى فى رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠٪، و ٩٨٪. ويستعمل أقل مدى حرارى للتخزين -- وهو الذى يتراوح بين الصفر و ٢°م — لمعظم الخضر الورقية غير الثمرية، وثمار فاكهة المناطق الباردة.

والكنتالوب. وإذا كانت مساحة المخازن تسمح بفصل الخضر عن الفاكهة فإن ذلك يكون مفضلاً، حيث يسمح ذلك بإمكان زيادة الرطوبة النسبية للخضر إلى ٩٠٪–٩٨٪ حتى لا تفقد رطوبتها وتذبل.

تكون معظم الخضر الورقية والزهرية حساسة لأضرار الإثيلين، ويجب أن تبقى بعيدة عن المنتجات المنتجة للغاز (Thompson & Kader ٢٠٠٤).

وتكون إمكانيات التخزين المختلط على النحو التالى (مع ضرورة خفض تركيز الإثيلين إلى ما دون جزء واحد فى المليون):

المجموعة الأولى:

تخزن حاصلات هذه المجموعة على صفر–٢°م، وهى تقسم بدورها إلى تحت مجموعتين أ، ب – حسب الرطوبة النسبية التى تلائمها – كما يلى:

- المجموعة الأولى أ:

تناسبها رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠٪، و ٩٨٪ وتضم الحاصلات التالية:

١– حاصلات حساسة للإثيلين:

الأمارانث	الينسون	الأسبرجس
الهندباء البلجيكية	الباك شوى	البروكولى
كرنب بروكسل	الكرنب	الجزر
القنبيط	الكرفس	السلق
الكرنب الصينى	الكولارد	الفجل الشرقى
الهندباء	الشيكوريا	الفينوكيا
البصل الأخضر	الأعشاب (ليس منها الريحان)	الكيل
الكرات	الخس	النعناع
المسترد	البقدونس	الشالوت
البسلة السكرية	السبانخ	البسلة
السلق السويسرى	الكرسون المائى	

٢– حاصلات ليست حساسة كثيرًا للإثيلين، وهى:

نبت البرسيم الحجازى	الخرشوف	الفول الرومى
فاصوليا الليما	نبت الفاصوليا	البنجر
السيليرياك	الذرة السكرية	الذرة البيبى
الخضر المجهزة للمستهلك	الثوم	فجل الحصان
الطرطوفة	كرنب أبو ركبة	عيش الغراب
الجزر الأبيض	الشيكوريا	الفجل
الروتاباجا	الروبارب	السلسفيل
اللفت		

● المجموعة الأولى ب:

تناسبها رطوبة تتراوح بين ٨٥٪، و ٩٥٪، وتضم الحاصلات التالية:

١– حاصلات منتجة للإثيلين، وهى:

التفاح	المشمش	الزبدية الناضجة
الكنتالوب	الفاكهة المجهزة للمستهلك	الكيوى

٢– حاصلات حساسة للإثيلين، هى:

الكيوى	الكاكى	البرقوق الناضج
السفرجل		

٣– حاصلات ليست شديدة الحساسية للإثيلين، وهى:

البلاكبرى	البلوبرى	الكريز
جوز الهند	البلح	التين
العنب	النكتارين	الخوخ
الكمثرى	الرمان	الراسبرى
الفراولة		

المجموعة الثانية:

تخزن حاصلات هذه المجموعة على ٧–١٠°م، مع رطوبة نسبية تتراوح بين ٨٥٪، و ٩٥٪، وتضم الحاصلات التالية:

١- حاصلات منتجة للإثيلين، وهى:

الزبدية غير الناضجة	الجوافة	الليمون الأضاليا
المانجو الناضجة		

٢- حاصلات حساسة للإثيلين، وهى:

الريحان	الشايوت	الخيار
الباذنجان	البامية	الكوسة
الليمون الأضاليا	الليمون البنزهير	

٣- حاصلات ليست شديدة الحساسية للإثيلين، وهى:

الفاصوليا الخضراء	اللوبيا الخضراء	اللوبيا الهليونية
الفلفل الحلو	الفلفل الحريف	الفاصوليا المجنحة
اليوسفى	الزيتون	البرتقال
الأناناس	التمر هندى	

المجموعة الثالثة:

تخزن حاصلات هذه المجموعة على ١٣-١٨°م، مع رطوبة نسبية تتراوح بين ٨٥٪، ٩٥٪ وتضم الحاصلات التالية:

١- حاصلات منتجة للإثيلين، وهى:

الموز	شهد العسل	الباباظ

٢- حاصلات حساسة للإثيلين، وهى:

قرع الشتاء	البطاطا	اليام

٣- حاصلات ليست شديدة الحساسية للإثيلين، وهى:

الشمام المر	الكاسافا	بصل الأبصال
الزنجبيل	البطاطس	القرع العسلى
القلقاس	الطماطم	البطيخ

ولا يجوز تخزين منتجات الخضر والفاكهة التالية معًا لأن بعضها يكتسب الروائح المنبعثة من بعضها الآخر، كما يلي:

منتجات منتجة للروائح	منتجات تكتسب تلك الروائح
التفاح والكمثرى	الكرنب – الكرفس – الجزر – البصل – البطاطس
الكرات	العنب
البصل الطازج والمجفف	عيش الغراب – الذرة السكرية – الروبارب – التفاح – الكمثرى – الكرفس
الجزر والفلفل	الكرفس – الفاصوليا الخضراء – الأفوكادو

الفصل الثانى عشر

أضرار البرودة والتجمد

نتناول بالشرح فى هذا الفصل نوعان من الأضرار التى يمكن أن تتعرض لها المنتجات البستانية بعد الحصاد، وهما:

١- أضرار البرودة chilling injury:

وتلك هى التى تصيب المنتجات لدى تعرضها لحرارة تقل عن الدرجة المثلى لتخزينها، ولكنها تزيد عن أعلى درجة يمكن أن تتجمد عليها.

٢- أضرار التجمد freezing injury:

وتلك هى التى تصيب المنتجات لدى تعرضها للحرارة التى يمكن أن تتجمد عليها.

تقسيم المحاصيل البستانية حسب حساسيتها لأضرار البرودة

تحدث أضرار البرودة chilling injury فى معظم المحاصيل الاستوائية وشبه الاستوائية عندما تخزن فى حرارة أعلى من درجة تجمدها، وأقل من ٥-١٥° م. ويتوقف الحد الأعلى للمجال الحرارى الذى تحدث فيه أضرار البرودة على نوع المحصول.

وتقسم الحاصلات البستانية – حسب حساسيتها لأضرار البرودة – إلى ثلاث مجموعات، كما يلى:

١- محاصيل تتحمل البرودة:

تتناسب فترة صلاحية حاصلات هذه المجموعة للتخزين عكسيًا مع درجة الحرارة ما دامت الحرارة أعلى من درجة التجمد.

٢- محاصيل حساسة للبرودة:

تزداد فترة صلاحية حاصلات هذه المجموعة للتخزين كلما انخفضت درجة الحرارة

حتى درجة معينة تختلف باختلاف المحصول، ثم تنخفض فترة الصلاحية للتخزين مع أى انخفاض أكثر من ذلك فى درجات الحرارة. وتعرف هذه الدرجة باسم درجة الحرارة الحرجة لحدوث أضرار البرودة، وهى تتراوح – عادة – بين حوالى ١٠–١٣°م. وتنتمى إلى هذه المجموعة معظم الخضر والفواكه الاستوائية وتحت الاستوائية.

٣– محاصيل حساسة قليلاً للبرودة:

تقل درجة الحرارة الحرجة – التى تحدث عندها أضرار البرودة – قليلاً فى حاصلات هذه المجموعة مقارنة بحاصلات المجموعة السابقة، وهى تتراوح – عادة – بين حوالى ٣ و ٤°م (عن Wang ١٩٩٤).

ومن أكثر الخضر والأعشاب حساسية لأضرار البرودة الخيار، والباذنجان، والكوسة، والبامية والبطاطا، والريحان. ومن المحاصيل المتوسطة الحساسية الفاصوليا الخضراء، والكنتالوب، والفلفل، وقرع الشتاء، والطماطم.

أعراض أضرار البرودة

إن كثيرًا من الخضر والفاكهة ونباتات الزينة الاستوائية وتحت الاستوائية حساسة لأضرار البرودة؛ فهى تُضار إذا تعرضت لحرارة منخفضة تقل عن ١٠–١٥°م وتزيد عن درجة تجمدها. كذلك فإن بعض المحاصيل البستانية من تلك التى تنتشر فى المناطق الباردة تعد حساسة للبرودة، إذ إنها – بصورة عامة – تصاب بأضرار البرودة لدى تعرضها لحرارة تقل عن ٥°م.

ولدى التعرض للحرارة التى تحدث معها أضرار البرودة تضعف الأنسجة النباتية، إذ لا يمكنها القيام بالعمليات الأيضية الطبيعية، وتحدث بها تحورات فسولوجية وبيوكيميائية عديدة، واختلال وظيفى خلوى فى الأنواع الحساسة لأضرار البرودة. وإذا ما طال أمد التعرض لذلك الشدّ فإن تلك الاختلالات الوظيفية الخلوية تقود إلى ظهور عديد من أعراض البرودة؛ مثل: النقر السطحية، والتغيرات اللونية الداخلية، والابتلال المائى للأنسجة، وفشل النضج الطبيعى. وغالبًا .. فإن

المنتجات التى تكون قد أصيبت بأضرار البرودة بالفعل تظهر طبيعية ما بقيت فى الحرارة المنخفضة، ولكن تظهر عليها أعراض الأضرار فى خلال فترة وجيزة لدى نقلها إلى الجو الدافئ. وغالبًا ما تكون الخضر والفاكهة المصابة بأضرار البرودة أكثر قابلية للإصابة بالكائنات الدقيقة المسببة للأعفان، وبخاصة المسببات المرضية الضعيفة التطفل مثل *Alternaria* spp.، وهى التى لا تكون سريعة النمو فى الأنسجة السليمة، ولكنها تنمو بسرعة فى الأنسجة التى ضعُفَت جراء التعرض للبرودة (Wang ٢٠٠٤).

ومن أهم أعراض البرودة فى محاصيل الخضر، ما يلى:

١- التنقير وفقد موضعى للرطوبة.

٢- التلون البنى الخارجى أو التلطخات اللونية السطحية (كما فى الباذنجان).

٣- التغير اللونى الداخلى (كما فى البطاطا).

٤- زيادة القابلية للإصابة بالأعفان السطحية (كما فى الفاصوليا والخيار).

٥- الفشل فى النضج أو عدم تجانس التلوين (كما فى الطماطم الخضراء المكتملة التكوين).

٦- فقدان المذاق، والمركبات المتطايرة المميزة للنكهة.

٧- ظهور طعم غير مرغوب فيه (كما فى البطيخ).

٨- المظهر المائى (كما فى الطماطم).

٩- الصلابة عند الطهى (كما فى البطاطا).

١٠- زيادة الحلاوة (كما فى البطاطس).

١١- حدوث انهيار داخلى بالأنسجة النباتية.

١٢- تكون الحاصلات أكثر عرضة للإصابة بالنموات الفطرية السطحية والتحلل.

وتكون هذه الأعراض مصاحَبة – عادةً – بزيادة فى معدل التنفس، وإنتاج الإثيلين، والقابلية للإصابة بالأمراض. وفى التغيرات المؤدية إلى الشيخوخة، وخاصة بعد إخراج المنتجات من المخازن الباردة إلى درجة الحرارة العادية لأجل تسويقها.

وتكون الأعراض الخارجية لأضرار البرودة انعكاسًا لأضرار داخلية. لعل من أهمها وأبرزها تلك التى تحدث بالأغشية الخلوية. وعندما تفقد الأغشية الخلوية خاصية نفاذيتها الاختيارية للأيونات من جراء تعرضها للحرارة المنخفضة فإن الأيونات تتسرب من الخلايا دونما رابط. ولطالما استخدمت خاصية التوصيل الكهربائى لراشحات الأنسجة tissue leachates المتأثرة بالبرودة كدليل على مقدار الضرر الذى حدث بالأغشية الخلوية؛ حيث تؤدى زيادة الأضرار بالأغشية إلى زيادة الراشحات، ومن ثم زيادة قدرتها على التوصيل الكهربائى.

وقد وجد Côté وآخرون (١٩٩٣) ارتباطًا بين درجة التوصيل الكهربائى لراشحات أجزاء من نسيج بشرة ثمار الطماطم التى تعرضت لحرارة ٣°م لفترات مختلفة وبين شدة أضرار البرودة التى ظهرت على الثمار (فى صورة نقر وعدم تجانس فى النضج) عندما نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م. ولكن هذا الارتباط ظهر فقط عند إجراء اختبار التوصيل الكهربائى فى الحرارة المنخفضة (٣°م)، وليس بعد نقل الثمار إلى حرارة الغرفة (٢٠°م).

التوازن بين السكر والنشا:

يؤدى تخزين بعض الخضروات — ومن بينها البطاطس والبطاطا والذرة السكرية والبسلة الخضراء — فى حرارة منخفضة إلى تغيير التوازن بين النشا والسكر نحو السكر. ففى أى درجة حرارة يوجد توازن ديناميكى (أى متغير) بين النشا والسكر، مع استنفاذ بعض السكر فى التنفس وانطلاق ثانى أكسيد الكربون. كما يلى:

النشا ⇌ السكر ⟵ ثانى أكسيد الكربون

وفى حرارة الهواء العادى يتجه توازن النشا والسكر فى البطاطس والبطاطا كثيرًا نحو تراكم النشا. وعند تخزينها فى حرارة منخفضة ينخفض معدل التنفس وتحول السكر إلى نشا. وتختلف الحرارة الحرجة التى يبدأ عندها تراكم السكر باختلاف المحصول، فهو حوالى ١٠°م فى البطاطس، وحوالى ١٥°م فى البطاطا. ويعد تراكم

السكر أمرًا غير مرغوب فيه فى عديد من الخضر النشوية؛ فالبطاطس التى يرتفع محتواها من السكر تكون رديئة القوام وذا طعم حلو عند غليها فى الماء، كما تكتسب لونًا بنيًا داكنًا عند قليها بسبب تكرمل السكر والتفاعلات بين الأحماض الأمينية والسكريات، وهى التى تعرف باسم تفاعل ميلارد Maillard reaction. ويمكن خفض تركيز السكر فى البطاطس التى خزنت فى حرارة منخفضة برفع حرارة التخزين إلى ١٠ °م أو أعلى من ذلك، وربما يعود السكر إلى تركيزه الطبيعى فى خلال أسبوع من التخزين على ١٥–٢٠ °م، ولكن المدة قد تطول عن ذلك إذا كان التخزين فى الحرارة المنخفضة قد دام لفترة طويلة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وفى خضروات أخرى كالبسلة الخضراء والذرة السكرية يكون المحتوى العالى من السكر مرغوبًا فيه، ولذا فإنها تحصد وهى غير مكتملة التكوين immature ليكون محتواها من السكر عاليًا، ثم تخزن سريعًا – بعد تبريدها أوليًا – فى حرارة قريبة من الصفر المئوى، لوقف تحول السكر إلى نشا.

ونقدم فى جدول (١٢–١) بيانًا بأعراض أضرار البرودة فى عدد من الحاصلات البستانية (عن Kader ١٩٩٦، و Saltveit ٢٠٠٣، و Brecht ٢٠٠٣، و Mohammed & Brecht ٢٠٠٣، و Wang ٢٠٠٤).

جدول (١٢–١): بيان بأعراض أضرار البرودة فى عدد من الحاصلات البستانية.

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
الكنتالوب	(٢–٥ للشبكى) (٧–١٠ لشهد العسل)	فقدان الصلابة – التنقير – زيادة التحلل السطحى – الفشل فى استكمال النضج – ظهور مناطق مائية بجلد الثمرة – لزوجة سطح الثمرة بسبب إفرازات العصير التى تحدث فى حالات الإصابة الشديدة فى شهد العسل – تغير لونى أسمر محمر بجلد شهد العسل.

تابع جدول (١٢–١).

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
الفلفل	٧	التنقير السطحى الكثيف sheet pitting – الكرمشة – فقدان الصلابة – تغير لون البذور إلى البنى – تغير لون الكأس
القرع العسلى	١٠	الإصابة بعفن ألترناريا alternaria rot – التحلل
الطماطم	(١٣ للخضراء المكتملة التكوين) (٧–١٠ للناضجة)	تأخير النضج وعدم انتظامه – زيادة القابلية للإصابة بعفن ألترناريا – الكرمشة – التنقير – فقدان الصلابة – تغيرات لونية غير مرغوب فيها – تقل القابلية للإصابة بأضرار البرودة بزيادة النضج – تصبح الثمار الناضجة مثل كرة من الماء
البطيخ	٤,٥	تنقير سطحى – أجزاء غائرة من القشرة تصبح جافة لدى نقل الثمار إلى حرارة غير محدثة لأضرار البرودة – ظهور بقع بنية صدئة داخلية بالقشرة – ظهور طعم غير مقبول – بهتان اللون الأحمر للب
قرع الشتاء	١٠	الإصابة بعفن ألترناريا – التحلل
الأسبرجس	صفر–٢	شحوب اللون ليصبح أخضر رمادى – رخاوة قمة المهاميز
فاصوليا الليما	١–٤,٥	ظهور بقع أو نقط بنية صدئة – تحلل
الفاصوليا العادية الخضراء	٧	التنقير – التلون الصدئ – شحوب اللون – تغير لون البذور – التحلل
الخيار	٧	التنقير – ظهور بقع مائية – التحلل
الباذنجان	٧	الانسفاع السطحى البنى – الإصابة بعفن ألترناريا – اسوداد البذور – التنقير – ظهور مناطق غائرة بالجلد – تغير لون كأس الثمرة – التلون البنى الداخلى

تابع جدول (١٢-١).

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
البامية	٧-١٠	تغيرات لونية – ظهور مناطق مائية – التنقير – تغير لون الكأس
البطاطس	٣-٤	التلون البنى الماهوجنى mahogany browning – ارتفاع نسبة السكر – ظهور مناطق حمراء بنية باللب – تدهور صفات الجودة الأكلية.
البطاطا	١٢-١٣	التحلل – التنقير – تغيرات لونية داخلية – صلابة القلب عند الطهى
اليام	١٣-١٦	تغيرات لونية داخلية – تحلل – فقدان الصلابة – كرمشة
الكاسافا	٥-٨	انهيار داخلى – زيادة فقدان الرطوبة – الفشل فى التنبيت – زيادة التحلل – فقدان صفات الجودة الأكلية.
الجنزبيل ginger	٧	زيادة الطراوة – الكرمشة – افرازات مائية من السطح – التحلل
القلقاس	٧-١٠	انهيار الأنسجة – تلون داخلى – زيادة فقدان الرطوبة – زيادة التحلل – تغيرات غير مرغوبة فى الطعم
الكوسة	٥-١٠	التنقير السطحى – التحلل
الأناناس	٧-١٠	لون أخضر شاحب عند النضج – تلون بنى داخلى
الزبدية	٤,٥-١٣	تغير لونى بنى ضارب إلى الرمادى باللُب
الموز	١١,٥-١٣	لون شاحب عند النضج
الجوافة	٤,٥	اهتراء اللب – تحلل
الجريب فروت	١٠	انسفاع سطحى – تنقير – انهيار مائى
الليمون الأضاليا	١١-١٣	تنقير – تلطخ أحمر – تغير لون الأغشية
الليمون البنزهير	٧-٩	تنقير يصبح رمادى اللون مع الوقت

تابع جدول (١٢-١).

المحصول	أقل حرارة آمنة (°م)	أضرار البرودة
المانجو	١٠-١٣	تلون الجلد بلون رمادى – عدم انتظام النضج
الزيتون	٧	تلون بنى داخلى
الرمان	٤,٥	تنقير – تلون بنى خارجى وداخلى
البرتقال	٣	تنقير – ظهور صبغات بنية

العوامل المؤثرة فى الإصابة بأضرار البرودة

تتأثر شدة الإصابة بأضرار البرودة بكل من مدى الانخفاض الحرارى ومدة التعرض له. وقد يحدث الضرر خلال فترة وجيزة من التعرض للحرارة المنخفضة إن كانت شديدة الانخفاض، ولكن تزداد فترة التحمل للحرارة المنخفضة إن كانت فى الحدود الحرجة للمحصول، وذلك قبل أن تصبح الأضرار بلا رجعة.

ولدرجة اكتمال النمو ومدى النضج عند الحصاد أهمية فى تحديد مدى الحساسية لأضرار البرودة فى بعض المحاصيل مثل الأفوكادو، وكنتالوب شهد العسل (الهنى ديو)، والطماطم.

ولدرجة الحرارة المنخفضة تأثير متجمع cumulative؛ حيث يبدأ فى الحقل قبل الحصاد، ويستمر مع التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة. وكثيرًا ما تبدو الحاصلات طبيعية المظهر عند إخراجها من المخازن الباردة، إلا أنها سرعان ما تظهر عليها أعراض البرودة بعد بقائها فى الجو العادى لمدة يوم أو يومين؛ أى أثناء فترة التسويق.

ولكن أعراض أضرار البرودة تظهر كذلك فى المخازن إذا طالت فترة التخزين فى حرارة أقل من الدرجة الحرجة الخاصة بالمحصول.

كذلك يسهم كلًا من التعرض للحرارة المخفضة لفترات قصيرة، والتعرض للحرارة المنخفضة أثناء الشحن فى شدة أعراض الإصابة بأضرار البرودة (Wang وآخرون ٢٠٠٤).

وسائل الحد من أضرار البرودة

حاول الباحثون جعل المنتجات البستانية الاستوائية وتحت الاستوائية أكثر تحملاً لأضرار البرودة؛ حتى يمكن تخزينها فى درجات حرارة أكثر انخفاضًا؛ وبذا .. تزداد فترة تخزينها. ومن أهم الوسائل التى اتبعت لتحقيق هذا الهدف ما يلى:

التعريض لحرارة منخفضة

يؤدى تعريض المنتجات البستانية الحساسة لأضرار البرودة لحرارة منخفضة تزيد قليلاً على الحرارة الحرجة – قبل تخزينها مباشرة – إلى خفض حساسيتها لتلك الأضرار. وقد أثبتت هذه الطريقة جدواها فى كل من الخيار، والباذنجان، والفلفل، والطماطم، والكوسة، والجريب فروت.

ويتم التعريض – السابق للتخزين – للحرارة المنخفضة إما مرة واحدة، وإما بصورة تدريجية وهى الطريقة الأفضل. فمثلاً .. أظهرت ثمار الباذنجان التى عوملت بحرارة ١٥°م لمدة يومين، ثم بحرارة ١٠°م لمدة يوم واحد نُقرًا أقل بعد تخزينها على ٦.٥°م عن تلك التى لم تعامل – قبل تخزينها – إلا بحرارة ١٥°م لمدة يومين.

وقد تبين أن المعاملة بالحرارة المنخفضة قبل التخزين البارد صاحبتها زيادة فى مستويات الليبيدات الفوسفاتية فى الأغشية الخلوية، وفى درجة عدم التشبع للأحماض الدهنية التى توجد بالأغشية، وتثبيط للزيادة التى يسببها التخزين البارد فى نسبة الاستيرول إلى الليبيدات الفوسفاتية، وزيادة فى البولى أمين والألدهيدات ذات السلاسل الطويلة. وربما تؤدى جميع هذه التغيرات إلى خفض أضرار البرودة.

التعريض لحرارة مرتفعة

عرف تأثير المعاملة بالحرارة المرتفعة قبل التخزين البارد فى خفض أضرار البرودة منذ عام ١٩٣٦؛ حينما وُجد أن تعريض ثمار الجريب فروت لحرارة ٣٨°م لمدة ١٧–٢٢ ساعة قلل جوهريًا من ظهور النقر بها؛ عندما خزنت بعد تلك المعاملة على حرارة ٤.٥°م. ومنذ ذلك الحين ثبتت أهمية هذه المعاملة فى تقليل أضرار البرودة فى عديد

من الخضر الاستوائية وتحت الاستوائية؛ مثل: الخيار، والبطاطا، والطماطم، والبطيخ (عن Wang ١٩٩٤).

هذا إلا أن الحدود المأمونة لمعاملة التعريض للحرارة العالية تختلف من محصول لآخر؛ فبينما تستجيب الزبدية لحرارة ٣٦°م، وتزهر بها أضرار الحرارة العالية عند تعريضها لحرارة ٣٨°م، فإن الطماطم تستجيب لحرارة تتراوح بين ٣٦ و ٤٠°م (عن Klein & Lurie ١٩٩٢).

كما أدى تعريض ثمار الطماطم لحرارة ٣٨°م – لمدة ثلاثة أيام قبل تخزينها – إلى المكافحة الكاملة للفطر *Botrytis cinerea* الذى يصيب الثمار بالعفن والتحلل أثناء تخزينها (Fallik وآخرون ١٩٩٣).

وفى الكوسة أدت معاملة الثمار بالماء الدافئ على حرارة ٤٢°م لمدة ٣٠ دقيقة إلى تقليل أضرار البرودة عندما خزنت الثمار بعد ذلك على حرارة ٥°م، ثم نقلت إلى ٢٠°م، وقد ازدادت الفائدة من معاملة الحرارة العالية عندما تركت الثمار لمدة يومين على حرارة ١٥°م بعد معاملة الحرارة العالية وقبل تخزينها على حرارة ٥°م (Wang ١٩٩٤).

وبالمقارنة .. وجد Whitaker (١٩٩٤) أن إنضاج ثمار الطماطم جزئيًّا على حرارة ٢٠°م لمدة ثلاثة أيام – قبل تخزينها على حرارة ٥°م لمدة ٢٠ يومًا – كان أكثر كفاءة فى خفض أضرار البرودة من تعريضها – قبل التخزين – لحرارة عالية مقدارها ٣٨°م لنفس فترة الثلاثة أيام.

ولا تقتصر فائدة معاملة الحرارة العالية على المحاصيل الحساسة للبرودة فقط، بل تتعداها كذلك إلى بعض محاصيل المناطق الباردة. ففى البروكولى .. وُجد أن غمس البراعم فى الماء على حرارة ٤٥°م لمدة ١٤ دقيقة أدى إلى تأخير اصفرارها – على حرارة ٢٠°م – لمدة ٢–٣ أيام. كما أدت المعاملة – كذلك – إلى إبطاء فقد البروتينات الذائبة، وحامض الأسكوربيك، وخفض معدل التنفس، ومعدل إنتاج غاز الإثيلين. وفى دراسة أخرى وجد Forney (١٩٩٥) أن غمس البروكولى فى الماء على حرارة ٥٠

°م لمدة دقيقتين كان أفضل معاملة لتأخير الاصفرار والتحلل. مع تجنب ظهور الروائح غير المرغوبة، والفقد فى الوزن.

وقد أرجعت الحماية التى توفرها معاملة التعريض للحرارة المرتفعة قبل التخزين البارد إلى أسباب مختلفة؛ منها: تكوين بروتينات معيّنة (heat shock proteins) فى الطماطم، وزيادة فاعلية عملية المعالجة فى البطاطا، وتكوين مركبات مضادة للفطريات — مثل الاسكوبارون scoparone — فى الليمون الأضاليا.

التدفئة المتقطعة

التدفئة المتقطعة intermittent warming هى تعريض المنتجات المخزنة فى حرارة منخفضة — لفترة واحدة أو أكثر من فترة — فى حرارة مرتفعة. ويجب أن تتم هذه المعاملة قبل أن تتقدم أضرار البرودة إلى مرحلة لا رجوع فيها؛ لأن ذلك إن حدث فهو يعنى أن معاملة التدفئة تؤدى إلى إسراع ظهور أعراض البرودة؛ ولذا .. فإن توقيت معاملة التدفئة يعد أمرًا حيويًّا. ومن الأهمية بمكان التعرف على بدايات حدوث أضرار البرودة.

وقد اتبعت طريقة التدفئة المتقطعة فى تجنب أضرار البرودة فى كل من الليمون الأضاليا، والبامية والخيار، والفلفل الحار، والكوسة، والخوخ، والنكتارين. ولكل محصول منها الفترات الحرجة — الخاصة به — المناسبة لمعاملة التدفئة.

فمثلاً .. وجد Cabrera & Saltveit (١٩٩٠) أن تدفئة ثمار الخيار بنقلها من ٢,٥°م إلى ١٢,٥°م لمدة ١٨ ساعة كل ثلاثة أيام قلل من أضرار البرودة التى ظهرت عليها. وبالمقارنة .. فقد ظهرت أضرار شديدة للبرودة — تمثلت فى تنقير شديد وتحلل — عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ٢,٥°م لمدة ١٣ يومًا. وذلك بعد ستة أيام من نلقها إلى ٢٠°م. بينما لم تظهر أية أعراض لأضرار البرودة عندما خزنت الثمار على حرارة ثابتة مقدارها ١٢,٥°م، ثم نقلت بعد ذلك إلى حرارة ٢٠°م.

ومن بين النظريات الافتراضية التى اقترحت لتفسير تأثير التدفئة المتقطعة أن رفع درجة الحرارة فى وسط معاملة البرودة يحفز النشاط الأيضى؛ الأمر الذى يسمح للأنسجة النباتية

بتصريف المركبات الوسطية أو المركبات السامة التى تتراكم خلال فترة التعريض للبرودة؛ بتحويلها إلى مركبات غير ضارة. كذلك قد تسمح تدفئة الأنسجة لفترات قصيرة بمعالجة الأضرار التى تحدث للأغشية الخلوية، وعضيّات الخلية، والمسارات الأيضية خلال فترة التعريض للبرودة. كما قد تفيد فى إعادة توفير المركبات التى تستنفذ أو التى لا يمكن تمثيلها خلال معاملة البرودة. وقد تلعب تلك التغيرات الحرارية الفجائية (من البرودة إلى الدفء ثم إلى البرودة) دورًا فى زيادة تمثيل الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ الأمر الذى يجعل الأغشية الخلوية أكثر مرونة، ويزيد من تحملها للحرارة المنخفضة (عن Wang ١٩٩٤).

التخزين فى الجو المعدل

لا يكون للتخزين فى الجو المعدل تأثير متساوٍ على أضرار البرودة فى كل الثمار الاستوائية وتحت الاستوائية؛ فهو يقلل من أضرارها فى البامية، والزبدية، والأناناس، والجريب فروت، ويزيد من أضرارها فى الخيار، والفلفل، والليمون البنزهير، ولا تأثير له على أضرار البرودة فى الليمون الأضاليا، والباباظ، والطماطم.

كذلك تفيد التعبئة فى عبوات الجو المعدل MAP، والتخزين تحت تفريغ فى تقليل احتمالات التعرض للإصابة بأضرار البرودة.

المعاملات الكيميائية

من بين المعاملات الكيميائية التى أثبتت جدواها فى خفض أضرار البرودة ما يلى:

الكالسيوم	الزيوت المعدنية
زيت القرطم	الزيوت المعدنية
الاسكوالين squalene	إيثوكسى كوين ethoxyquin
بنزوات الصوديوم	

إيمازليل imazalil، وهو: 1-(2-(2,4-dichlorophenyl)-2-(2-propenyloxylethyl) - 1-H-imidazole.

ثيابندازول thiabendazole، وهو: 2-(4-thiazolyl) benzimidazole.

يبدو أن الكالسيوم يعمل على تقوية الجدر الخلوية والأغشية الخلوية، ويجعل الأنسجة أكثر قدرة على تحمل الشدّ الناتج من التعرض للبرودة. وقد قللت المعاملة بالكالسيوم أضرار البرودة فى الزبدية والبامية.

وتعمل بنزوات الصوديوم والإثيوكسى كوين على منع حدوث الأكسدة peroxidation فى الأحماض الدهنية غير المشبعة فى ليبيدات الأغشية الخلوية؛ الأمر الذى يحافظ على سلامة الأغشية الخلوية حال تعرضها للبرودة. وقد أثبتت تلك المركبات فاعليتها مع كلٍ من الخيار والفلفل.

أما المبيدات الفطرية thiabendazole، و imazalil فإنها تمنع الإصابات الكامنة، وتقلل تكوين النقر، وتؤخر شيخوخة القشرة فى البرتقال والجريب فروت.

وتمنع الزيوت المعدنية وزيت القرطم التغيرات فى اللون التى تحدث تحت القشرة فى الموز عند تعرضه للبرودة، وقد يكون لهما وللزيوت النباتية دور فى تقليل الفقد الرطوبى وخفض أضرار الأكسدة.

أما الاسكوالين squalene فهو شمع طبيعى يوجد فى قشرة الجريب فروت. وقد وجد أن إضافة المزيد منه إلى القشرة يحمى ثمار الجريب فروت من أضرار البرودة.

معاملات منظمات النمو

من أهم معاملات منظمات النمو التى كان لها تأثير إيجابى فى خفض أضرار البرودة ما يلى:

١- حامض الأبسيسيك فى كل من الجريب فروت والكوسة.

٢- الإثيلين فى شهد العسل.

٣- تعمل الترايازولات triazoles (مثل: البكلوبترازول paclobutrazol، ويونى كونازول uniconazole، والترايادميفون triadimefon) على حماية المركبات التى توجد فى الأغشية الخلوية من أضرار الأكسدة؛ وبذا .. فإنها تزيد من مقاومة النباتات —

وخاصة العشبية منها – لأضرار الصقيع، ولكن لا يوصى بالمعاملة بأى منها، لأسباب صحية.

٤– كذلك تعمل البولى أمينات polyamines على حماية ثمار الكوسة من أضرار البرودة. وربما يحدث ذلك من خلال نشاطها المضاد للأكسدة (عن Wang ١٩٩٤).

وقد أوضحت دراسات Lurie وآخرين (١٩٩٥) أن معاملة نباتات الفلفل الحلو قبل الحصاد بأى من منظمات النمو: بكلوبترازول، ويونى كونازول، ومفليودايد mefluidide أدت إلى حماية الثمار – الخضراء والحمراء – من التعرض لأضرار الصقيع عندما خزنت على حرارة ٢°م لمدة ٢٨ يومًا. وجميعها – كذلك – معاملات لا يوصى بها.

أضرار التجمد

تحدث أضرار التجمد freezing injury من جراء تكون البلورات الثلجية فى الخلايا بأنسجة الحاصلات البستانية. حيث يبدو النسيج المتجمد بعد إخراجه من المخزن وتعرضه لدرجة الحرارة العادية كما لو كان منقوعًا فى الماء water-soaked.

ويمكن أن يحدث التجمد أثناء نقل المحصول فى ظروف جوية تقل فيها الحرارة عن الصفر المئوى، أو نتيجة لعدم ضبط منظم الحرارة بطريقة صحيحة، أو لعدم كفاءة المنظم. أو نتيجة لتعرض المنتج لمادة شديدة الانخفاض فى درجة الحرارة مثل الثلج الجاف. وتتوقف درجة الحرارة التى يتجمد عندها المحصول على محتوى أنسجته من المواد الذائبة، حيث يزداد الانخفاض فى حرارة التجمد بزيادة الضغط الأسموزى للعصير الخلوى. وبينما تتجمد أوراق الخس على –٠,٢°م، فإن ثمار العنب (التى تحتوى على مالا يقل عن ١٤٪ سكر) لا تتجمد إلا بعد انخفاض الحرارة لأقل من ٢,٠°م.

طبيعة أضرار التجمد

يؤدى تجمد الأنسجة إلى جفافها وحدوث شد أسموزى للتراكيب الخلوية، مثل الأغشية الخلوية، ومحتويات الخلية كالبروتين؛ ذلك لأن ماء الخلية يفقد أثناء نمو

البلّورات الثلجية. كما أن تمدد الماء أثناء تجمده – وخاصة الماء المتجمد داخل الخلايا – يمكنه إحداث أضرار فيزيائية كبيرة بتركيب الخلية. وعند تفكك الأنسجة فإنه لا يمكنها – عادة – معاودة الأيض الطبيعي أو عودتها إلى قوامها العادى. تكون الأنسجة المفككة بعد التجمد – غالبًا – طرية ومائية المظهر، إلا أن بعض المنتجات كالكرنب والبصل لا تتأثر بقدر كبير، وخاصة إذا كان الضرر الذى أحدثته البلّورات الثلجية محدودًا، وإذا كان معدل الارتفاع فى درجة الحرارة عند التفكك بطيئًا؛ بما يسمح بإعادة توزيع ماء الخلايا والأنسجة بنظام، وإعادة النظام إلى مختلف مكونات الخلايا.

وتمر الأحداث التى تقود إلى الإصابة بأضرار التجمد بمرحلتين، تكون المنتجات فى أولاهما قابلة للعودة إلى الحالة الطبيعية. أما المرحلة الثانية فلا يكون فيها رجعة. وهى التى تقود إلى ظهور أعراض التجمد. وذلك كما يلى:

١- المرحلة الأولى:

يحدث فيها تغيرات فيزيائية فى دهون الأغشية الخلوية وتحللا بالإنزيمات والبروتينات.

٢- المرحلة الثانية:

يحدث فيها أضرار لا رجعة فيها فى كل من:

أ- العمليات الأيضية، مثل التنفس وتمثيل البروتين.

ب- تحرك الأيونات خلال الأغشية الخلوية.

جـ- حركة دوران السيتوبلازم.

تؤدى تلك الأضرار فى نهاية المطاف إلى تحلل الأغشية الخلوية وظهور أعراض أضرار البرودة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

العوامل المؤثرة فى شدة أضرار التجمد

إن درجة تجمد أى منتج لا تكون دليلاً على الأضرار التى يمكن توقعها فيه لدى

تجمده. وعلى سبيل المثال .. فإن كلا من الطماطم والجزر الأبيض يتجمدان على -١.١ إلى -٠.٦°م، إلا أن الجزر الأبيض يمكنه التجمد والتفكك عدة مرات دون أن تظهر عليه أية أضرار، بينما تتلف ثمار الطماطم تمامًا لدى تعرضها لتجمد واحد.

وتتأثر شدة أضرار التجمد بكل من درجة الحرارة ومدة التجمد. وعلى سبيل المثال .. فإن التفاح يُضار قليلاً بالتعرض لحرارة تقل قليلاً عن حرارة التجمد لأيام قليلة، ولكنه يُضار بشدة إذا ما تعرض لحرارة -٧ إلى -١٠°م ولو لعدة ساعات.

وقد لا تتشابه أنواع الخضر أو الفاكهة التى تنتمى لنوعية واحدة (مثل الخضر الورقية أو الجذرية ... إلخ) فى قابليتها للإصابة بأضرار البرودة. فمثلاً يعد الخس الورقى حساسًا لأضرار التجمد، بينما يمكن لبعض الخضر الورقية الأخرى كالكيل والكرنب تحمل عدة تجمدات بسيطة دون أن تحدث بها أضرار تذكر.

وإذا ما تركت المنتجات ساكنة فإنها قد تتحمل التبريد حتى عدة درجات أدنى من درجة تجمدها قبل أن تتجمد بالفعل، وهو ما يعرف باسم ظاهرة "تحت التبريد" under-cooling أو "التبريد الفائق" super-cooling. يمكن أن تبقى تلك المنتجات لعدة ساعات دون تجمد، ولكنها تتجمد فى الحال لدى تعرضها لأى اهتزازات أو تحريك. وإذا ما دفئت المنتجات قبل تجمدها فإن كثيرًا منها تفلت من التجمد. وكمثال على ذلك .. فإن البطاطس يمكنها أن تتحمل حرارة -٣.٩°م (وهى الأقل من درجة تجمدها بمقدار ثلاث درجات)، ولكنها تفلت من التجمد إذا ما دفئت بحرص (Wang ٢٠٠٤).

وتكون الأنسجة النباتية شديدة الحساسية لأضرار الخدش وهى متجمدة، وذلك سبب آخر للإبقاء على المنتجات المخزنة ساكنة لحين تدفئتها. هذا مع العلم أن اختيار حرارة تفكيك عالية يسرع من التفكك، ولكنه يزيد من الأضرار. بينما يسمح التفكك البطئ جدًا (على صفر إلى ١°م) على سبيل المثال) بأن تبقى البلورات الثلجية فى الأنسجة لفترة طويلة؛ مما قد تحدث معه أضرار. وتعد ٤°م هى الدرجة المثلى لتفكك معظم المنتجات.

ويمكن أن تتأثر حرارة التجمد بكل من الأصناف، وموقع الإنتاج، والظروف الجوية التى كانت سائدة قبل الحصاد.

وفى كل الحالات .. فإن المنتجات التى تتحمل التفكك بعد تجمدها تكون أقل صلاحية للتخزين وأكثر عرضة للإصابة بمسببات الأمراض (Lorenz & Maynard ١٩٨٠، و Wang ٢٠٠٤).

تقسيم الخضر والفاكهة حسب قابليتها للإصابة بأضرار التجمد

تتفاوت الخضر والفاكهة فى قابليتها للإصابة بأضرار التجمد؛ فبعضها يمكن تجمده وتفككه عدة مرات دون أن تظهر عليه أى أضرار، بينما يُضار بعضها الآخر ضررًا دائمًا مع أقل تجمد.

ويمكن تقسيم الخضر والفاكهة إلى ثلاثة أقسام حسب قابليتها للإصابة بأضرار البرودة كما يلى (عن Wang ٢٠٠٤):

١- منتجات شديدة القابلية للإصابة، وهى التى تُضار – عادة – لدى تعرضها لتجمد واحد ولو كان بسيطًا، ومنها:

المشمش	الأسبرجس	الزبدية
الموز	الفاصوليا الخضراء	الخيار
الباذنجان	الليمون الأضاليا	الليمون البنزهير
الخس	البامية	الخوخ
الفلفل الحلو	البرقوق	البطاطس
الكوسة	البطاطا	الطماطم

٢- منتجات متوسطة القابلية للإصابة، وهى التى يمكنها التعرض لتجمد بسيط مرة أو مرتين، ومنها:

التفاح	البروكولى	الجزر
القنبيط	الكرفس	الجريب فروت

العنب	البصل (الأبصال)	البقدونس
الكمثرى	البسلة	الفجل
السبانخ	قرع الشتاء	

٣- منتجات أقل قابلية للإصابة، وهى التى يمكن أن تتعرض لتجمد بسيط (حتى -٦°م) عدة مرات دون أن تصاب بأضرار شديدة، ومنها:

البنجر	كرنب بروكسل	الكرفت
البلح	الكيل	كرنب أبو ركبة
الجزر الأبيض	الروتاباجا	السلسفيل
اللفت		

هذا .. ولا توجد علاقة بين درجة الحرارة التى تتجمد عندها الحاصلات وبين درجة تحملها لأضرار التجمد. فمثلاً .. تتجمد البطاطس عند حرارة -٢.٧°م، بينما يتجمد الكرنب عند حرارة -٠.٥°م. وبالرغم من ذلك .. يتحمل الكرنب التجمد عدة مرات دون ضرر يذكر، بينما لا تتحمل البطاطس التجمد ولو لفترة قصيرة. ومن الطبيعى أن تنخفض المقدرة على التخزين عند تعرض الخضروات المخزنة للتجمد.

أعراض أضرار التجمد

إن أكثر أعراض أضرار التجمد شيوعًا هى اكتساب المنتج مظهرا مائيًا water soaked appearance. وغالبًا ما تفقد الأنسجة التى تُضار بالتجمد صلابتها وتصبح زائدة الطروة لدى تفككها.

ومن أهم أعراض أضرار التجمد فى محاصيل الخضر ما يلى (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠):

المحصول	الأعراض
الخرشوف	انفصال البشرة وتلون الأجزاء التى تنفصل عنها البشرة — والتى تأخذ شكل تقرحات — بلون يميل إلى الأبيض أو الرصاصى الفاتح، ثم لا يلبث أن يصبح اللون

المحصول	الأعراض
	بنيًا بعد تكسر القروح.
الأسبرجس	تصبح قمة المهاميز داكنة اللون، وبقية أنسجتها مائية المظهر. وعند تفكك التجمد فإن المهاميز تصبح مهترئة.
البنجر	تصبح الجذور مائية المظهر خارجيًا وداخليًا، وتكتسب الأوعية الناقلة أحيانًا لونًا أسود.
البروكولى	تكون أصغر البراعم الزهرية فى مركز القرص أكثر حساسية للتجمد. وتكتسب البراعم المتجمدة لونًا بنيًا، وتعطى رائحة قوية غير مقبولة عند تفككها.
الكرنب	تصبح الأوراق مائية المظهر ونصف شفافة، وتنفصل عنها البشرة بعد تفككها.
الجزر	تظهر بالجذور تقرحات. وشقوق متعرجة، كما تبدو الجذور من الداخل مائية المظهر بعد تفككها.
القنبيط	تكتسب الأقراص لونًا بنيًا، وتعطى رائحة قوية غير مرغوبة عند طهيها.
الكرفس	تبدو الأوراق وأعناق الأوراق ذابلة ومائية المظهر بعد تفككها. ويكون تجمد الأعناق أسرع من تجمد أنصال الأوراق.
الثوم	تبدو الفصوص مائية المظهر بعد تفككها. وتأخذ لونا أصفر ضاربًا إلى الرمادى.
الخس	تظهر تقرحات، وتموت خلايا البشرة بعد انفصالها، وتصبح بنية اللون، وتزداد حساسية الرؤوس للأضرار الميكانيكية والتحلل.
البصل	تكون الأبصال المفككة طرية، وتأخذ لونًا أصفر ضاربًا إلى الرمادى. وتبدو مائية المظهر فى المقطع العرضى. ويكون التجمد – عادة – محصورًا فى أعناق الأوراق (الحراشيف المتشحمة المكونة للبصلة) كل منها منفردة.
الفلفل الحلو	يموت كل نسيج البشرة أو جزء منه، ويبدو مائى المظهر، وتتعرض الثمرة للتنقير والانكماش، كما تتحلل بعد تفككها.
البطاطس	لا تبدو أضرار التجمد واضحة على الدرنة من الخارج، ولكنها قد تظهر على صورة مناطق رمادية أو رمادية ضاربة إلى الزرقة تحت جلد الدرنة، وتكون الدرنات المفككة طردية ومائية المظهر.
الفجل	تبدو الأنسجة المفككة نصف شفافة، وتكون الجذور طرية ومنكمشة.

المحصول	الأعراض
البطاطا	تتلون الأنسجة الوعائية بلون بني ضارب إلى الصفرة، وتبدو بقية الأنسجة مائية المظهر. وتأخذ لونًا ضاربًا إلى الصفرة. وتكون الجذور طرية وشديدة القابلية للإصابة بالتحلل.
الطماطم	تصبح الثمار مائية المظهر، وتكون طرية بعد تفككها. وعندما يكون تجمد الثمار جزئيًا، يشاهد حد فاصل واضح بين النسيجين المتجمد وغير المتجمد، وخاصة في الثمار الخضراء.
اللفت	تظهر بقع صغيرة مائية المظهر على سطح الجذور. وتبدو الأنسجة المتأثرة بالتجمد رصاصية اللون أو رمادية، وتعطى رائحة غير مرغوبة.

الفصل الثالث عشر

التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

لقد كان المتبع فى الماضى هو الاعتماد على التنفس الطبيعى للخضر فى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون وخفض نسبة الأكسجين، مع تنظيم مكونات هواء المخزن بعد ذلك بالتحكم فى التهوية. ويسمى ذلك بـ "التخزين فى الجو المعدل" Modified Atmosphere (MA)، لكن المتبع الآن – غالبًا – هو التحكم التام فى نسب الغازات الموجودة بالمخازن بخلطها بالخارج آليًا، بالنسبة المرغوبة، ثم دفعها إلى الداخل بانتظام. ويسمى ذلك بـ "التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته" Controlled Atmosphere (CA). ويراعى فى كلتا الطريقتين عدم خلو المخزن تمامًا من الأكسجين لأية فترة، وإلا حدث تنفس لا هوائى، وتكونت مركبات غير مقبولة الطعم نتيجة لذلك. ولا تخفى أهمية أن تكون المخازن ذات الجو المعدل محكمة الإغلاق تمامًا؛ بحيث لا تتسرب منها الغازات.

عادة ما يستعمل عند التخزين فى الهواء المتحكم فى مكوناته تركيزًا من الأكسجين يقل عن ٨٪ (مقارنة بتركيز ٢١٪ فى الهواء العادى)، وتركيزًا من ثانى أكسيد الكربون يزيد على ١٪ (مقارنة بتركيز ٠,٠٣٪ فى الهواء العادى). ويكون الباقى نيتروجينًا (مقارنة بنحو ٧٨٪ فى الهواء العادى). كما قد يضاف غاز أول أكسيد الكربون – كذلك – بنسبة ٢٪–٣٪، وخاصة أثناء شحن الخس، لمنع تغيرات اللون البنى فى الأوراق، ولذلك محاذيره.

وللتخزين فى الجو المعدل والجو المتحكم فى مكوناته أهميته بالنسبة لكل من الحاصلات السريعة التلف، وتلك التى تكمل نضجها بعد الحصاد.

وبرغم نجاح التخزين فى الجو المعدل والجو المتحكم فى مكوناته فى عديد من الحاصلات، إلا أن البعض منها يتأثر بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى جو المخزن،

وتظهر بعض العيوب الفسيولوجية بها، وهو الأمر الذى لا يحدث إلاّ فى الأنسجة النباتية الخالية من الكلوروفيل. فمثلاً .. تحدث أضرار بالقنبيط فى جو به ٥٪ CO_2، و ٢٪ O_2، بينما يظل البروكولى بحالة جيدة فى جو به ١٠٪ CO_2، و ٠,٢٥٪ O_2. كما يتأثر خس الرؤوس ذو الأوراق السهلة التقصف بجو معدل به ٢٪ CO2، بينما يتحمل الخس الرومين ذو الأوراق الخضراء نسبة CO_2 تصل إلى ١٢٪ (Isenberg ١٩٧٩).

ويعتقد بصورة عامة أن خفض تركيز الأكسجين (فى صورة CA أو MA) يخفض معدل التنفس بمقدار ٥٠٪ فى حرارة ٢٠–٢٥°م، وبمقدار ٧٤٪ فى الحرارة المنخفضة التى يتحملها المنتج.

وتتضمن العوامل التى تؤثر فى اختيار الجو المتحكم فى مكوناته CA أو الجو المعدل MA لتخزين المنتجات البستانية ما يلى:

١– فترة التخزين الطبيعية فى الهواء العادى:

فإذا كان من الممكن تخزين المحصول بصورة مُرضية فى الهواء العادى لكل فترة التسويق المرغوب فيها، لا تكون هناك حاجة إلى اللجوء لأى من الـ CA أو الـ MA.

٢– استجابة المحصول للـ MA ومدى تلك الاستجابة:

فيجب أن تكون هناك فائدة واضحة من التخزين فى الـ CA أو الـ MA، علمًا بأن تلك الاستجابة لا تتوفر بصورة واضحة ومؤثرة فى بعض المنتجات.

٣– القدرة العالية على تحمل التغيرات فى مكونات الهواء:

من الأهمية بمكان التأكد من قدرة المنتج على تحمل مدى واسع من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، وألا تتأثر جودته بالتغيرات البسيطة فى نسب الغازات فى حالات الـ MA؛ فذلك أمر لا يمكن استبعاده.

٤– الوفرة الموسمية للمنتج:

يكون اللجوء إلى الـ CA أو الـ MA أمرًا هامًّا عندما يتوفر المحصول خلال فترة

زمنية قصيرة؛ حيث يصبح تخزين المحصول لأطول فترة ممكنة أمرًا بالغ الأهمية.

٥– قيمة المنتج بالنسبة لتكلفة التخزين فى الجو الـ CA أو الـ MA؛ فيجب أن تكون هناك فائدة مادية ملموسة من التخزين بتلك الطريقة.

٦– مدى توفر المنتج من مناطق جغرافية أخرى:
فقد يكون الأجدى استيراد المنتج ذاته من مناطق جغرافية أخرى بدلاً من تخزينه لفترات طويلة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

مزايا وعيوب التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

المزايا

يحقق التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته – عندما يكون تركيز غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى المجال المناسب للمحصول – المزايا التالية:

١– تأخير الوصول إلى الشيخوخة (اكتمال النضج) وما يتصل بها من تغيرات حيوية وفسيولوجية؛ مثل التنفس، وإنتاج الإثيلين، وفقد الصلابة، والمحتوى الكيميائى.

٢– خفض حساسية الثمار لفعل الإثيلين عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٨٪، أو يزيد تركيز ثانى أكسيد الكربون على ١٪، ويكون ذلك التأثير جمعيًا additive. ولكن يلزم التخلص من غاز الإثيلين المتراكم عندما تمتد فترة التخزين لعدة شهور.

ويكون تأثير الـ CA والـ MA فى تأخير النضج أو منعه أعلى فى الحرارة العالية، الأمر الذى يكون له أهمية خاصة مع الثمار الحساسة لأضرار البرودة، مثل الطماطم والكنتالوب.

٣– خفض معدل التنفس طالما بقيت نسبتا الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الحدود التى يتحملها المحصول. ويؤدى انخفاض معدل التنفس بالإضافة إلى انخفاض معدل إنتاج الإثيلين، وانخفاض الحساسية لفعل الإثيلين إلى تأخير الشيخوخة؛ الأمر الذى يتبدى فى المحافظة على الكلوروفيل (اللون الأخضر)، والقوام (قلة اللجننة)، والصفات الأكلية، وذلك بالنسبة للخضر غير الثمرية.

٤– تجنب الإصابة ببعض العيوب الفسيولوجية؛ مثل أضرار البرودة فى الزبدية وبعض الخضر، والتبقع الصدئ فى الخس.

٥– يفيد الجو المتحكم فى مكوناته بصورة مباشرة أو غير مباشرة فى تقليل الإصابة بالأعفان؛ فمثلاً .. يثبط التركيز العالى لثانى أكسيد الكربون (١٠٪–١٥٪) من عفن بوتريتس فى الفراولة والمنتجات الأخرى.

٦– يمكن أن يكون المستوى المنخفض من الأكسجين (الأقل من ١٪) والمرتفع من ثانى أكسيد الكربون (٤٠٪–٦٠٪) مفيدًا فى مكافحة الحشرات فى بعض المنتجات الطازجة والجافة من الثمار، والأزهار، والخضر، والنقل، والحبوب (Kader ٢٠٠٤).

٧– يحقق توفير غاز أول أكسيد الكربون فى هواء المخازن المزايا التالية:

أ– يمنع الغاز تغيرات اللون التى تحدث فى الخس وغيره من الخضر أثناء التخزين عندما يتواجد بتركيز ١٪–٥٪، ويختفى هذا التأثير بمجرد إخراج المنتج من الجو المعدل.

ب– يمنع الغاز (عند تواجده بنسبة ٥٪–١٠٪) نمو كثير من الكائنات الدقيقة المسببة للعفن، وتزداد فاعلية أول أكسيد الكربون فى هذا الشأن عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٥٪.

جـ– قد يفيد تواجد أول أكسيد الكربون – مع النسب العالية من ثانى أكسيد الكربون والمنخفضة من الأكسجين – فى مكافحة الحشرات التى تصيب الخضر المخزنة.

العيوب

غالبًا ما يكون الفرق بين التركيزات المفيدة والتركيزات الضارة من مختلف الغازات قليلاً، كما أن التركيزات اللازمة لمكافحة الأعفان أو الحشرات قد لا يتحملها المحصول المخزن، وقد تزيد من معدل تدهوره.

ومن المخاطر المحتملة للتخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته ما يلى:

١– بدء العمليات الحيوية التى تؤدى إلى ظهور بعض العيوب الفسيولوجية أو

تنشيطها، كما في حالة القلب الأسود في البطاطس. والصبغة البنية في الخس. والتلون البني في التفاح والكمثرى، وأضرار البرودة في بعض المنتجات.

٢- عدم انتظام نضج ثمار الموز والمانجو والكمثرى والطماطم عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٢٪، أو يزيد تركيز ثاني أكسيد الكربون على ٥٪ لمدة تزيد عن الشهر.

٣- تكوّن طعم ورائحة غير مرغوب فيهما في مستويات الأكسجين الشديدة الانخفاض، وكذلك في التركيزات العالية جدًا من ثاني أكسيد الكربون؛ بسبب التنفس اللاهوائي الذي يحدث في هذه الظروف (شكل ١٣-١).

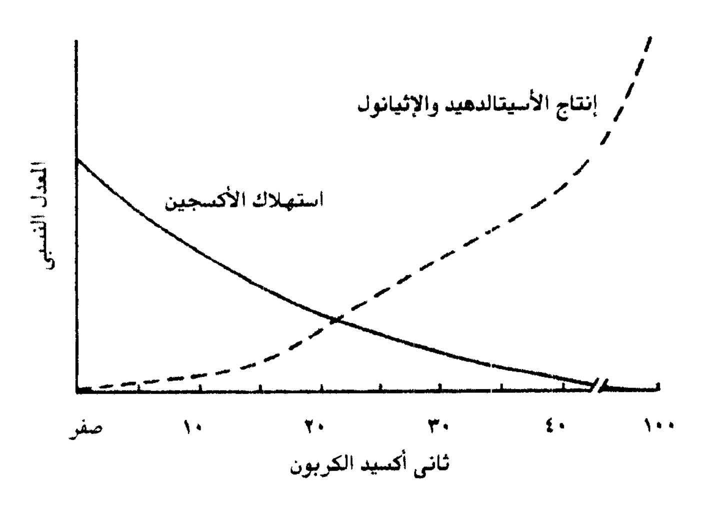
٤- زيادة القابلية للإصابة بالتحلل نتيجة للأضرار الفسيولوجية التي تتعرض لها المنتجات المخزنة عند نقص الأكسجين بشدة، أو زيادة ثاني أكسيد الكربون كثيرًا.

٥- يثبط الجو المتحكم في مكوناته تكوين البيريدرم. وينشط التبرعم في بعض الخضر الجذرية والدرنية؛ مثل البطاطس.

٦- كما أن تواجد غاز أول أكسيد الكربون في الهواء المتحكم في مكوناته يحمل معه المحاذير التالية:

أ- قد يؤدي الغاز إلى زيادة ظهور بعض العيوب الفسيولوجية؛ فمثلاً .. يعمل الغاز على زيادة شدة الإصابة بالصبغة البنية brown stain في الخس عند زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في هواء المخزن عن ٢٪.

ب- يعطي أول أكسيد الكربون تأثيرات مماثلة للتأثيرات التي يحدثها الإثيلين؛ مثل إسراع نضج الثمار، وتحفيز ظهور بعض العيوب الفسيولوجية، ولكن هذه التأثيرات تختفي عندما تقل نسبة الأكسجين، أو تزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون، ولا يصبح لغاز أول أكسيد الكربون أية تأثيرات يعتد بها في هذا الشأن إلا على المنتجات البستانية الشديدة الحساسية لغاز الإثيلين مثل ثمار الكيوى (عن Kader وآخرين ١٩٨٥، و ١٩٨٩، و ٢٠٠٤).



شكل (١٣-١): تأثير تركيز ثانى أكسيد الكربون على التنفس الهوائى (ـــ)، والتنفس اللاهوائى (- -) – الذى يؤدى إلى إنتاج الأسيتالدهيد والإيثانول – بالمنتجات الطازجة (عن Kader & Saltveit ٢٠٠٣).

محاذير التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

إن التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته له بعض المحاذير، كما يلى:

١- إن المكونات الغازية للهواء قد تحفز نمو وتكاثر بعض الكائنات الدقيقة.

٢- قد يكون لتلك الغازات آثار ضارة على العمال المشتغلين فى المخزن.

ونبين على وجه الخصوص – فيما يلى – المخاطر المحتملة لكل من الإثيلين، والأكسجين، وأول وثانى أكسيد الكربون.

١- الإثيلين:

من الأصح – علميًّا أن يطلق على الإثيلين الاسم إيثين ethene، ولكن الاسم الأول هو الشائع الاستعمال. وهو غاز عديم اللون ذو طعم حلو ورائحة طيبة. وله خصائص خانقة ومخدرة، كما أنه قابل للاشتعال عندما يتواجد فى الهواء بتركيز يتراوح بين ٣٫١٪ و ٣٢٪، ولذا .. يجب ألا يصل تركيزه فى هواء المخزن إلى ٣٫١٪. كما

يجب اتخاذ كافة الاحتياطات لمنع وجود أو تولد أى شرارة أو اشتعال أى شئ بالمخزن.

٢- الأكسجين:

يؤدى انخفاض تركيز الأكسجين فى الهواء إلى ١٢٪-١٦٪ إلى التأثير على تناسق عمل العضلات فى الإنسان، مع إحداث زيادة فى معدل التنفس وعدم القدرة على التفكير. ومع انخفاض تركيز الأكسجين عن تلك الحدود يحدث التقيؤ وتزداد الأعراض السابق ذكرها حدة. وعند تركيز ٦٪ أكسجين يفقد الإنسان وعيه ويتوقف التنفس كما يتوقف القلب عن النبض. وفى المقابل فإن زيادة تركيز الأكسجين عن ٢١٪ يمكن أن يتسبب فى حدوث انفجارات فى المخزن.

٣- ثانى أكسيد الكربون:

إن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى المخازن عن التركيز الطبيعى يمكن أن يكون ضارًا بصحة من قد يتواجدون فيه. وأقصى تركيز يمكن أن يتواجد فيه الإنسان هو ٠.٥٪ للبقاء المستمر، و ١,٥٪ للبقاء لفترة لا تزيد على عشر دقائق (Thompson ١٩٩٨).

٤- أول أكسيد الكربون:

يعتبر غاز أول أكسيد الكربون عديم اللون والطعم والرائحة؛ الأمر الذى يزيد من خطورته لعدم الإحساس بتواجده. وترجع خطورته إلى سميته الشديدة للإنسان (من خلال تأثيره على هيموجلوبين الدم)، وقابليته الشديدة للاشتعال – مع الانفجار – عندما يتراوح تركيزه فى الهواء بين ١٢.٥٪ و ٧٤.٢٪؛ ولذا .. يتعين دائمًا اتخاذ إجراءات مشددة عند استعمال هذا الغاز فى المخازن (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

العوامل المؤثرة فى تحمل الحاصلات البستانية للجو المتحكم فى مكوناته

يمكن أن تتباين الأصناف فى مدى تحملها للتركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون، كما وجد فى الخس على سبيل المثال. كذلك يزداد التحمل للتركيزات

العالية من الغاز عند التخزين لفترات قصيرة وفي درجات الحرارة الأكثر انخفاضًا. فعلى سبيل المثال .. يتحمل الأسبرجس ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٠٪–١٤٪ في حرارة صفر إلى ٣°م، بينما يصل أقصى ما يتحمله من الغاز إلى تركيز ٥٪–٩٪ في حرارة ٣ إلى ٦°م، أما الفلفل الحريف فيتحمل تركيز يصل إلى ١٥٪–٢٠٪ في حرارة ٥°م، بينما لا يزيد التركيز الذي يتحمله عن ٥٪ في حرارة ١٠°م، ويمكن للأسبرجس أن يتحمل تركيزًا لغاز ثاني أكسيد الكربون يصل إلى ٦٠٪ لفترة قصيرة (Watkins ٢٠٠٠).

وتزداد التأثيرات المفيدة للجو المتحكم في مكوناته مع الخضر الثمرية المكتملة التكوين عما يكون عليه الحال مع الخضر الثمرية غير المكتملة التكوين؛ بسبب تأثير الـ CA على تأخير النضج. ويمكن لتلك المجموعة من الخضروات تحمل ٣٪–٥٪ أكسجين بدون زيادات في تركيز ثاني أكسيد الكربون. وتختلف تلك الخضر في مدى تحملها للزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون. وبينما يمكن أن تظهر أضرار على ثمار الطماطم والفلفل الحلو والخيار جراء زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون على ٢٪ لمدة تزيد عن أسبوعين، فإن ثمار الكنتالوب والذرة السكرية يمكنها تحمل تركيزات تصل إلى ١٠٪–١٥٪ من ثاني أكسيد الكربون (Kader ١٩٩٦).

الأساس البيولوجي لتأثيرات الهواء المتحكم في مكوناته

يوجد – بصورة عامة – تشابهًا بين تأثيرات التركيز المنخفض من الأكسجين والتركيز المرتفع من ثاني أكسيد الكربون على الأيض، والتي غالبًا ما تكون في صورة تثبيط لمختلف العمليات الأيضية.

ومن أبرز الاستثناءات في هذا الشأن ما يلي:

١– ينخفض – عادة – معدل التنفس بانخفاض نسبة الأكسجين، ولكنه قد يثبط، أو لا يتأثر، أو يحفّز بزيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في هواء التخزين.

٢– يثبّط نشاط الإنزيم ACC synthase في وجود أي من التركيز المنخفض من

الأكسجين أو المرتفع من ثانى أكسيد الكربون. أما في حالة الإنـزيم ACC oxidase فـإن التركيز المنخفض للأكسجين يثبِّط نشاطه، بينما يحفِّز التركيز المنخفض من ثانى أكسيد الكربون نشاطه ويثبِّط التركيز المرتفع هذا النشاط.

٣– يثبَّط نشاط الإنزيم phenylalanine ammonia lyase (وهو إنـزيم يلعب دورًا فـى أيض الفينولات) فى التركيزات المنخفضة من الأكسجين، ولكنه يحفَّز بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى بعض الأنسجة.

٤– يعـد التركيـز المرتفـع لثـانى أكسـيد الكربـون مثبِّطـًا لفعـل الإثـيلين (Watkins ٢٠٠٠).

إن تعريض المنتجات البستانية لمستويات منخفضة من الأكسـجين وأخـرى مرتفعـة مـن ثانى أكسيد الكربون – فى المجال الذى يتحمله كل منتَج – يخفـض مـن معـدل تنفسـها ومعدل إنتاجها للإثيلين، إلاّ أن تخطى المدى الذى يتحمله المنتَج – سواء أكان بانخفـاض تركيز الأكسجين، أم بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون – يمكن أن يتسبب فى زيادة كـل من معدلى التنفس وإنتاج الإثيلين؛ مما يعنى تعرض المنتَج لحالة من الشدِّ. ويمكن أن يُسهم هذا الشدِّ فى ظهور عيوب فسيولوجية وفى زيادة القابلية للإصابة بالتحلـل. هـذا .. علمًـا بأن تأثيرات الشدِّ الذى تحدثه زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون تضيف إلى تلك التـأثيرات التى يحدثها نقـص تركيـز الأكسـجين. وأحيانًـا تكـون تأثيراتهمـا تداؤبيـة synergistic؛ بالإضافة إلى التأثيرات التى تحدثها الأضرار الكيميائيـة والفيزيائيـة، والتعـرض لحـرارة أو رطوبة نسبية أو لتركيزات من الإثيلين أعلى من المدى الذى يتحمله المنتج.

وحتـى نقطـة معينـة .. يمكـن للثمـار والخضـروات أن تتعـافى مـن التـأثيرات الضـارة للمستويات المنخفضة من الأكسجين أو المرتفعة من ثانى أكسـيد الكربـون (التـى تنـتج مـن أيض التخمر)، وتستعيد أيض تنفسها الطبيعى بعد نقلها إلى الهواء. كذلك يمكن للأنسـجة النباتية التعافى من الشدِّ الذى يحدثه التعرض لفترة قصيرة للجـو المثـبط لنشـاط الفطريـات (الذى تزيد فيه نسبة ثانى أكسيد الكربون على ١٠٪)، أو للجو القاتـل للحشـرات (الـذى يحتوى على أقل من ١٪ أكسجين، و ٤٠٪–٨٠٪ ثانى أكسيد الكربون).

وكما أسلفنا .. فإن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون يثبط نشاط إنـزيم ACC synthase الضرورى لتمثيل الإثيلين، بينما ينشّط إنزيم ACC oxidase فى التركيـزات المنخفضـة مـن ثانى أكسيد الكربون، ويثبِّط فى التركيزات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربـون والمرتفعـة مـن الأكسجين، ويثبِّط فعل الإثيلين فى التركيزات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون.

هذا .. ويعوق الجو المتحكم فى مكوناته تمثيـل الكلوروفيـل (اللـون الأخضـر)، وتمثيـل الكاروتينـات (اللـونين الأصـفر والبرتقـالى)، والأنثوسـيانينات (اللـونين الأحمـر والأزرق)، وتمثيل وأكسدة المركبات الفينولية (اللون البنى). كما يبطئ الجو المتحكم فى مكوناته نشاط الإنزيمـات المحللـة للجـدر الخلويـة، وهـى التـى تـؤدى إلى فقـد الأنسـجة لصـلابتها، والإنزيمات النشطة فى اللجننة التى تؤدى إلى زيادة صلابة أنسجة الخضر.

كذلك يؤدى نقص الأكسجين وزيادة ثانى أكسيد الكربون إلى التأثير فى الطعـم؛ حيـث يقل فقد الحموضة، وتحول النشا إلى سكر، وتحولات السكر، وتمثيـل المركبـات المتطـايرة المسئولة عن النكهة. هذا .. بالإضافة إلى أن الجو المتحكم فى مكوناته يحافظ على فيتـامين جـ والفيتامينات الأخرى من الفقد؛ مما يعنى المحافظة على القيمة الغذائية للمنتج.

تؤدى حالات الشدّ الشديدة للهواء المتحكم فـى مكوناتـه إلى خفـض pH السـيتوبلازم، ومستوى الـ ATP، وتقليل نشاط الإنـزيم pyruvate dehydrogenase، بينمـا يـزداد نشـاط الإنزيمـــات: pyruvate decarboxylase، و alcohol dehydrogenase، و lactate dehydrogenase. ويؤدى ذلك إلى تراكم الأسيتالدهيد، والكحول الإثيلى، وخلات الإثيل، وحامض اللاكتيك، وهى التى تضر بالمنتجات حسب حساسيتها. وتتوقف استجابة المنتج للهواء المتحكم فى مكوناته على كل من الصنف، ودرجة اكتمـال النمـو، ومرحلـة النضـج، وحرارة التخزين، ومدة التخزين، وتركيز الإثيلين.

يعد النيتروجين أحد المكونات الخاملة للهواء المتحكم فى مكوناته ويؤدى استبداله بغاز الأرجون أو الهليوم إلى احتمال زيـادة نفاذيـة غـازى ثـانى أكسـيد الكربـون والإثـيلين فـى الأنسجة النباتيـة؛ إلا أنهمـا – أى الأرجـون والهليـوم – لـيس لهمـا تـأثير مباشـر علـى

الأنسجة النباتية، كما أنهما أكثر تكلفة عن النيتروجين كمكونات خاملة بالهواء المتحكم في مكوناته.

إن التركيزات العالية جدًا من الأكسجين التى تصل إلى ٨٠٪ ربما تسرع من عملية اختفاء اللون الأخضر degreening الذى يُحدثه الإثيلين فى الثمار غير الكلايمكتيرية، كما يُسرع نضج الثمار الكلايمكتيرية، ومعدل التنفس وإنتاج الإثيلين، وظهور بعض العيوب الفسيولوجية (مثل التبقع الصدئ فى الخس). وفى مستويات من الأكسجين تزيد على ٨٠٪ تتعرض بعض المنتجات والمسببات المرضية للتسمم. وغالبًا فإن استعمال تلك التركيزات العالية جدًا من الأكسجين سيبقى مقصورًا على الحالات التى يقلل فيها الأكسجين التأثيرات السلبية للتركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون (التى تستعمل لوقف نمو الفطريات) عندما تكون المنتجات حساسة لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (Kader ٢٠٠٤).

ويمكن إيجاز تأثير انخفاض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فيما يلى:

أولاً: تأثير انخفاض تركيز الأكسجين

يكون لانخفاض تركيز الأكسجين التأثيرات التالية:

١- انخفاض معدل التنفس.

٢- انخفاض أكسدة المواد الأولية.

٣- تأخير نضج الثمار الكلايمكتيرية.

٤- زيادة طول فترة الصلاحية للتخزين.

٥- تأخير تحلل الكلوروفيل.

٦- خفض معدل إنتاج الإثيلين.

٧- تغيرات فى تمثيل الأحماض الدهنية.

٨- انخفاض معدل تحلل البكتينات الذائبة.

٩- تكوين طعم وروائح غير مرغوب فيها.

١٠– تغيرات فى القوام.

١١– تكوين عيوب فسيولوجية.

ثانياً: تأثير زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون:

يكون لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون التأثيرات التالية:

١– انخفاض تفاعلات التمثيل فى الثمار الكلايمكتيرية.

٢– تأخير بدء النضج.

٣– تثبيط بعض التفاعلات الإنزيمية.

٤–خفض إنتاج بعض المركبات العضوية العطرية.

٥– تغيرات فى أيض بعض الأحماض العضوية.

٦– خفض معدل تحلل المواد البكتينية.

٧– منع تحلل الكلوروفيل.

٨– تكوين طعم غير مقبول.

٩– حث تكوين عيوب فسيولوجية.

١٠– تثبيط النمو الفطرى على المنتج.

١١– تثبيط فعل الإثيلين.

١٢– تغيرات فى محتوى السكر (فى البطاطس).

١٣– تأثيرات على التزريع (البطاطس).

١٤– المحافظة على غضاضة المنتج.

١٥– إبطاء التغيرات التالية للحصاد.

١٦– تقليل التغيرات اللونية.

ومن أهم العيوب الفسيولوجية التى تستحثها زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون ما يلى:

١– القلب البنى، والانهيار الداخلى المصاحب للحرارة المنخفضة فى التفاح.

٢– تنقير الفول الرومى.

٣- إسراع الطراوة وظهور طعم غير مرغوب فيه فى البروكولى.

٤- التلون الداخلى فى الكرنب.

٥- التلون البنى الداخلى فى الفلفل.

٦- تكون طعم غير مرغوب فيه فى الكيوى، والسبانخ، والفراولة.

٧- الصبغة البنية فى الخس.

٨- تغير لون القلنسوة فى عيش الغراب.

٩- منع المعالجة فى البطاطس.

١٠- عدم انتظام النضج وظهور تلطخات سطحية فى الطماطم (Thompson ٢٠٠٣).

تكوين الجو المتحكم فى مكوناته

يمكن تكوين الجو المتحكم فى مكوناته بضخٍّ تيار من الهواء يحتوى على النسب المرغوب فيها من كل من الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون، والنيتروجين. ولا تكون المخازن فى هذه الحالة محكمة الإغلاق. ويتم توفير النسب المرغوب فيها من الغازات عن طريق احتراق أى من غازى البروبان propane، أو الميثان methane. ونظرًا لأن خليط هذه الغازات يتخلل المنتج المخزن، ثم يخرج من خلال منافذ التهوية بصورة دائمة؛ لذا .. فإنه لا توجد عند اتباع هذه الطريقة مشاكل تتعلق بتراكم غاز الإثيلين، كما لا توجد حاجة إلى استعمال المركبات التى تمتص غاز ثانى أكسيد الكربون (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤أ).

أما غاز أول أكسيد الكربون فإنه يضاف باستعمال اسطوانات (أنابيب) الغاز المضغوط بعد خلطه مع النيتروجين؛ لكى لا يزيد على ١٠٪.

ويعطى Kader وآخرون (١٩٨٥) مزيدًا من التفاصيل عن خلط الغازات وقياس نسبتها فى هواء المخازن.

وعندما تطول كثيرًا فترة التخزين فى الجو المتحكم فيه، فإنه تلزم — حينئذٍ — إزالة الإثيلين الذى يتراكم فى جو المخزن، ويستعمل لذلك مركبات ماصة للغاز؛ مثل

برمنجنات البوتاسيوم منفردة، أو مع الفحم (الشاركول)، مع إمرار هواء المخزن من خلال فلاتر تحتوى على تلك المواد، وتجديد المواد ذاتها من حين لآخر.

وتجدر الإشارة إلى أن استعمال الأوزون لأكسدة الإثيلين لا يمكن تحقيقه فى هذه المخازن؛ لأن عملية الأكسدة تتطلب توفر الأكسجين بتركيزات أعلى من تلك التى تتواجد فى المخازن ذات الجو المعدل.

استخدامات الجو المتحكم فى مكوناته

تزداد أهمية التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته فى إطالة فترة احتفاظ الخضر بجودتها عندما تكون درجة حرارة التخزين غير ملائمة للمنتج، وعندما تكون فترة التخزين المطلوبة أطول مما يُمكِّن من تأمينها بوسائل التخزين الأخرى. فمثلاً .. لا يكون التخزين فى الجو المعدل اقتصاديًا إذا رُغب فى تخزين الخس لمدة ٧ أيام فى حرارة صفر –٢,٢°م. أما إذا شحن محصول الخس من بلد لآخر واستغرق ذلك ثلاثين يومًا، فإن وضع المحصول فى الجو المعدل يكون أمرًا اقتصاديًا حتى لو كان التخزين فى الحرارة المنخفضة. كما يكون الجو المعدل اقتصاديًّا كذلك لو أريد المحافظة على المحصول بحالة جيدة لمدة ٧ أيام فى مخازن لا يمكن – عمليًا – خفض حرارتها عن ٥–٧,٢°م.

ويتعين دائمًا ملاحظة أن نسب الغازات المناسبة للتخزين تختلف كثيرا باختلاف المحصول والصنف المخزن، ودرجة حرارة التخزين، وطول فترة التخزين المطلوبة.

وفيما يلى أمثلة لاستخدامات الجو المتحكم فى مكوناته فى تخزين محاصيل الخضر:

١– الطماطم:

تمكن Parsons وآخرون (١٩٧٠) من تخزين ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين مدة ٦ أسابيع فى جو معدل به ٣٪ O_2، وصفر٪ CO_2 مع حرارة ١٣°م. وعندما رفعت نسبة CO_2 إلى ٣٪ أو ٥٪ مع الاحتفاظ بالنسبة المخفضة من الأكسجين لم يحدث نقص

فى نسبة العفن، بل حدث – أحيانًا – ضرر من CO_2. وعندما نقلت الثمار الخضراء إلى الجو العادى بعد ٦ أسابيع من التخزين تحت هذه الظروف، تلونت بصورة طبيعية.

وقد ثُبِّط التلوين فى ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين خلال سبعة أسابيع من التخزين على ١٢,٥ °م وحوالى ٩٠٪ رطوبة نسبية عندما تكون الهواء من ١٪ أكسجين + صفر٪ ثانى أكسيد كربون. وقد كانت الثمار أفضل طعمًا عما كان طعمها فى حالة التخزين فى تركيزات أعلى من الأكسجين (٣٪ أكسجين + ٣٪ أو ٥٪ ثانى أكسيد كربون) (عن Adamicki ١٩٩٧).

٢- الفراولة:

تخزن الفراولة بحالة جيدة لمدة ٧-١٠ أيام فى الصفر المئوى، ولمدة ٣-٥ أيام فى حرارة ٥ °م، ولمدة ١-٢ يوم فى حرارة ٢١ °م. ويمكن زيادة فترة التخزين إلى الضعف، مع وقف عفن الثمار بالتخزين فى جو معدل به ٢٠٪ CO_2. ويفيد ذلك عند الشحن فى الحرارة المرتفعة نسبيًّا.

٣- الخس:

تظهر على عروق الخس أثناء التخزين على حرارة ٢-٥ °م بقع عديدة ذات لون بنى محمر. وتعرف هذه الظاهرة باسم التبقع الصدئ russet spotting. ويحدث ذلك أثناء الشحن، وفى المخازن المبردة، وحتى لدى المستهلك فى الثلاجات المنزلية. ويمكن الحد من هذه الظاهرة كثيرًا بتخزين الخس فى جو معدل به ٢٪-٦٪ O_2، علمًا بأن التركيزات الأقل من ذلك تضر بالخس. والأعلى من ذلك لا تجدى؛ فلا تجب زيادة نسبة CO_2؛ لأن ذلك عديم الفائدة بالنسبة لظاهرة التبقع الصدئ، بل إن زيادته قد تحدث أضرارًا شبيهة بهذه الحالة (Lipton ١٩٧٥).

كذلك احتفظ الخس بلون الأوراق الأخضر ومحتواه العالى من حامض الأسكوربيك لمدة ٢١ يومًا على ١ °م عندما كان التخزين فى ١٪ أكسجين + ٣٪ ثانى أكسيد كربون.

٤– الفلفل:

كانت أعلى نسبة من ثمار الفلفل الأخضر الصالحة للتسويق بعد ٦ أسابيع من التخزين على ٨°م عندما تكون هواء المخزن من ٣٪ أكسجين + صفر ٪ ثانى أكسيد كربون. وأدى التخزين فى ٣٪ أكسجين + ٥٪ ثانى أكسيد كربون إلى زيادة الإصابة بالأعفان خلال فترة التخزين على ٢٠°م.

٥– الكرنب الصينى:

احتفظ الكرنب الصينى بصلاحيته للتسويق (ولكن مع بعض الفقد جراء الحاجة للتلقيم) لمدة ١٠٠ يوم على الصفر المئوى مع ١,٥٪ أو ٣٪ أكسجين + ٢.٥٪ ثانى أكسيد كربون. حيث قل الاصفرار والفقد فى الكلوروفيل.

٦– احتفظ البصل (الأبصال) بجودته بصورة أفضل فى ٠,٧٥٪ أو ١٪ أكسجين + ٢٪ ثانى أكسيد كربون. حيث قل التبرعم ونمو الجذور على مدى ٣٣ أسبوعًا من التخزين على الصفر المئوى (Adamicki ١٩٩٧).

٧– الكرنب:

يعتبر الكرنب من أصلح الخضروات للتخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته. ومن دراسات Isenberg & Sayles (١٩٦٩) وجدا أنه عند التخزين فى حرارة الصفر المئوى. كان الجو المعدل (٥٪ CO_2. و ٥٪ O_2) أفضل من الهواء العادى. وقد ازدادت فترة التخزين عند إنقاص نسبة الغازين (CO_2، O_2) إلى ٢.٥٪ لكل منهما، لكن صاحبت ذلك زيادة حلاوة أوراق الكرنب. وكان أفضل جو معدل هو المحتوى على ٥٪ CO_2 و ٥٪ O_2؛ حيث كانت فترة التخزين أطول ما يمكن. مع احتفاظ الرؤوس بالطعم العادى. إلا أن الأصناف اختلفت فى مدى مقدرتها على التخزين تحت هذه الظروف.

التطبيقات التجارية للجو المتحكم فى مكوناته

إن أكبر تطبيق لاستعمال الجو المتحكم فى مكوناته هو فى تخزين التفاح والكمثرى على المستوى العالمى، وبدرجة أقل فى تخزين الكرنب. والبصل الحلو (غير الحار).

والكيوى، والأفوكادو، والكاكى، والرمان، والنقل، والفاكهة والخضر المجففة. كذلك يستعمل الهواء المتحكم فى مكوناته فى رحلات الشحن التى تستغرق وقتًا طويلاً (الشحن البحرى) لكل من التفاح والأسبرجس، والأفوكادو، والبروكولى، والتين، والكيوى، والمانجو، والكنتالوب، والنكتارين، والخوخ، والكمثرى، والبرقوق، والفراولة (Kader ٢٠٠٤).

وتقسم الحاصلات البستانية حسب المدة التى يمكن أن تحتفظ خلالها بجودتها أثناء تخزينها فى الجو المتحكم فى مكوناته، كما يلى:

مدة التخزين (شهر)	المنتجات
< ١٢	اللوز – الكاجو – البكان – الفستق – الجوز – الخضر والفاكهة المجففة.
٦–١٢	بعض أصناف التفاح والكمثرى الأوروبية.
٣–٦	الكرنب – الكرنب الصينى – الكيوى – الكاكى – الرمان – وبعض أصناف الكمثرى الآسيوية.
١–٣	الزبدية – الموز – الكريز – العنب (دون الحاجة إلى ثانى أكسيد الكبريت) – المانجو – الزيتون – البصل (الأصناف الحلوة) – بعض أصناف النكتارين – الخوخ – البرقوق – الطماطم الخضراء المكتملة التكوين.
< ١	الأسبرجس – البروكولى – التين – الكنتالوب – الباباظ – الأناناس – الفراولة – الذرة السكرية – الخضر والفاكهة الطازجة المجهزة للمستهلك – بعض زهور القطف.

نسب الأكسجين وثانى أكسيد الكربون المناسبة لتخزين الحاصلات البستانية

يوضح جدول (١٣–١) الظروف المناسبة لتخزين مختلف الحاصلات البستانية فى الجو المتحكم فى مكوناته من حيث نسبة غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة، مع بيان الأهمية النسبية للتخزين بهذه الطريقة فى كل محصول.

جدول (١٣-١): ملخص بتوصيات الظروف المناسبة لتخزين الحاصلات البستانية فى الجـو المتحكم فى مكوناته (عـن Kader ١٩٨٦، و ١٩٩٦، و ٢٠٠١، و Saltveit ٢٠٠١، و Smith وآخرين ٢٠٠٣).

المحصول	الحرارة (م)	الأكسجين (٪)	ثانى أكسيد الكربون (٪)	الأهمية النسبية للتخزين بهذه الطريقة وملاحظات
التفاح	صفر-٥	٢-٣	٢-٣	
المشمش	صفر-٥	٢-٣	١-٢	
الزبدية	٥-١٣	٢-٥	٣-١٠	يستفاد منها فى الشحن البحرى
الموز	١٢-١٥	٢-٥	٢-٥	يستفاد منها فى الشحن البحرى
الكريز	صفر-٥	٣-١٠	١٠-١٥	يستفاد منها فى الشحن البحرى
الجريب فروت	١٠-١٥	٣-١٠	٥-١٠	
الكيوى	صفر-٥	١-٢	٣-٥	يستفاد منها فى الشحن البحرى مع ضرورة خفض تركيز الإثيلين إلى أقل من ٢٠ جزءًا فى المليون.
المانجو	١٠-١٥	٣-٧	٥-٨	يستفاد منها فى الشحن البحرى
الباباظ	١٠-١٥	٢-٥	٥-٨	
البرقوق	صفر-٥	١-٢	صفر-٥	استعمال محدود
الكمثرى	صفر-٥	٢-٣	صفر-١	
الأناناس	٨-١٣	٢-٥	٥-١٠	
الفراولة	صفر-٥	٥-١٠	١٥-٢٠	يستفاد منها فى الشحن البحرى
الأسبرجس	صفر-٥	٢٠	٥-١٠	شائعة الاستعمال
الفاصوليا الخضراء	٥-١٠	٢-٣	٥-١٠	قليلة الفائدة ويستفاد منها فى التخزين المؤقت لأجل التصنيع.
البروكولى	صفر-٥	١-٢	٥-١٠	شائعة الاستعمال ومفيدة
كرنب بروكسل	صفر-٥	١-٢	٥-٧	قليلة الفائدة
الكرنب	صفر-٥	٣-٥	٥-٧	شائعة الاستعمال ومفيدة
الكنتالوب	٣-٧	٣-٥	١٠-١٥	متوسطة الفائدة، خاصة أثناء الشحن
القنبيط	صفر-٥	٢-٥	٢-٥	قليلة الفائدة

تابع جدول (١٣–١).

المحصول	الحرارة (م)	الأكسجين (٪)	ثانى أكسيد الكربون (٪)	الأهمية النسبية للتخزين بهذه الطريقة وملاحظات
الذرة السكرية	صفر–٥	٢–٤	٥–١٠	قليلة الفائدة
الخيار	٨–١٢	٣–٥	> ١	قليلة الفائدة
شهد العسل	١٠–١٢	٣–٥	> ١	متوسطة الفائدة، خاصة أثناء الشحن
الخس	صفر–٥	٢–٥	صفر	متوسطة الفائدة
عيش الغراب	صفر–٥	٣–٢١	١٠–١٥	متوسطة الفائدة
الفلفل الحلو	٨–١٢	٣–٥	٢–٥	قليلة الفائدة
الفلفل الحريف	٨–١٢	٣–٥	صفر–٥	قليلة الفائدة
السبانخ	صفر–٥	٧–١٠	٥–١٠	قليلة الأهمية
الطماطم المكتملة التكوين	١٢–٢٠	٣–٥	٢–٣	قليلة الأهمية وتفيد أثناء الشحن
الطماطم الناضجة جزئيًا	٨–١٢	٣–٥	٣–٥	متوسطة الأهمية، وخاصة أثناء الشحن
الخرشوف	صفر–٥	٢–٣	٢–٣	متوسطة الفائدة
الكرنب الصينى	صفر–٥	١–٢	صفر–٥	قليلة الفائدة
السيليرياك	صفر–٥	٢–٤	٢–٣	قليلة الفائدة
الكرفس	صفر–٥	١–٤	٣–٥	قليلة الفائدة
الأعشاب	صفر–٥	٥–١٠	٤–٦	متوسطة الفائدة
الكرات	صفر–٥	١–٢	٢–٥	قليلة الفائدة
الخس المجهز للمستهلك	صفر–٥	١–٥	٥–٢٠	شائعة الاستعمال ومفيدة
البامية	٧–١٢	٣–٥	٤–١٠	قليلة الفائدة
بصل الأبصال	صفر–٥	١–٢	صفر–١٠	متوسطة الفائدة
البصل الأخضر	صفر–٥	٢–٣	صفر–٥	قليلة الفائدة
البقدونس	صفر–٥	٨–١٠	٨–١٠	قليلة الفائدة
الفجل (جذور)	صفر–٥	١–٢	٢–٣	قليلة الفائدة
البسلة السكرية	صفر–٥	٢–٣	٢–٣	قليلة الفائدة (أثناء الشحن خاصة)
الهندباء البلجيكية	صفر–٥	٣–٤	٤–٥	قليلة الفائدة
البلوبرى	صفر–٥	٢–٥	١٢–٢٠	تستخدم قليلاً فى الشحن البحرى

تابع جدول (١٣-١).

المحصول	الحرارة (م)	الأكسجين (٪)	ثانى أكسيد الكربون (٪)	الأهميـة النسبية للتخزين بهذه الطريقة وملاحظات
التين	صفر-٥	٥-١٠	١٥-٢٠	استخدام قليل فى الشحن البحرى
العنب	صفر-٥	٢-٥	١-٣	لا تتوافق مع التبخير بالـ SO_2
	أو صفر-٥	٥-١٠	١٥-٢٠	بديل للتبخير بالـ SO_2 أثناء الشحن البحرى حتى أربعة أسابيع
الجوافة	٥-١٥	٢-٥	صفر-١	
الليمون الأضاليا	١٠-١٥	٥-١٠	صفر-١٠	
الليمون البنزهير	١٠-١٥	٥-١٠	صفر-١٠	
النكتارين	صفر-٥	١-٢	٣-٥	يستفاد منها فى الشحن البحرى
	أو صفر-٥	٤-٦	١٥-١٧	يستفاد منها فى تقليل أضرار البرودة (الانهيار الداخلى) فى بعض الأصناف
الزيتون	٥-١٠	٢-٣	صفر-١	استعمال محدود لإطالة موسم التصنيع
البرتقال	٥-١٠	٥-١٠	صفر-٥	
الخوخ	صفر-٥	١-٢	٣-٥	استعمال محدود فى الحشن البحرى وأثناء موسم التصنيع
	أو صفر-٥	٤-٦	١٥-١٧	لخفض شدة الإصابة بالتحلل الداخلى (أضرار البرودة) فى بعض الأصناف
الكاكى	صفر-٥	٣-٥	٥-٨	استعمال محدود
الرمان	٥-١٠	٣-٥	١٠-١٥	
الراسبرى	صفر-٥	٥-١٠	١٥-٢٠	يستعمل أثناء الشحن
الجزر	صفر-٥	٢-٥	٢-٥	متوسطة الفائدة

التخزين تحت تفريغ جزئى

نال التخزين تحت تفريغ جزئى hypobaric (أو partial vacuum) اهتمام الباحثين، نظرًا لأنه يحقق المزايا التالية:

١- التخلص المستمر من غاز الإثيلين فلا يتراكم أبدًا في جو المخزن، ويفيد ذلك في تقليل معدل تدهور المنتجات المخزنة. كما يسمح بتخزين خضر مثل الكرنب والجزر في حرارة واحدة مع ثمار منتجة للإثيلين مثل التفاح.

٢- خفض ضغط الأكسجين جزئيًا؛ فيقل بذلك معدل وصول الثمار إلى مرحلة اكتمال النضج.

٣- تعمل هذه الظروف على بطء فقد الخضروات الورقية وغيرها من الخضروات – مثل البروكولي – للونها الأخضر.

٤- يعد وسيلة سهلة للتحكم في الرطوبة النسبية؛ إما قريبًا من التشبع للخضر الورقية، وإما في المستوى المنخفض المناسب لبعض الخضر مثل البصل (عن Salunkhe & Desai ١٩٨٤أ).

نجد أنه مع انخفاض الضغط داخل المخزن ينخفض كذلك الضغط النسبي للأكسجين، ومن ثم يقل تيسره للمنتج بمقدار يتناسب مع النقص في الضغط.

ومن أكبر تحديات تلك التقنية أن الرطوبة النسبية يجب أن تبقى – دائمًا – عالية جدًّا، وإلاّ فقدت المنتجات الطازجة المخزنة رطوبتها بمعدلات عالية؛ ذلك لأن انخفاض الضغط المخزن يعني انخفاض درجة غليان الماء؛ بما يعني أن رطوبة أنسجة الخضر والفاكهة يمكن أن تتبخر بسرعة متزايدة. ولهذا السبب فإن الهواء المُدخل إلى المخزن يجب أن تكون رطوبته النسبية قريبة من درجة التشبع، فإذا قلت عن ذلك يمكن أن يحدث جفاف شديد للمنتج (Thompson ١٩٩٨).

إن بخار الماء في هواء المخزن يجب أن يؤخذ في الحسبان عند حساب الضغط النسبي للأكسجين في المخزن. وللتعامل مع هذا الأمر يجب قياس الرطوبة النسبية في المخزن ثم حساب الفرق في ضغط بخار الماء water pressure deficit (اختصارًا: VPD) من اللوحة السيكرومترية psychrometric chart، ومن ثم يدخل في المعادلة التالية:

$$P_1 - VPD \times 21/P_0 = PPO_2$$

حيث إن:

P_0 = الضغط الجوى الخارجى فى الحرارة العادية.

P_1 = الضغط الجوى داخل المخزن.

VPD = الفرق فى ضغط بخار الماء داخل المخزن.

PPO_2 = الضغط الجزئى للأكسجين partial pressure of O_2 داخل المخزن.

ويتم خفض الضغط داخل المخزن باستعمال مضخة تحدث تفريغ بطرد الهواء خارج المخزن. يتسبب هذا الإجراء فى حد ذاته فى تغيير دائم لهواء المخزن (لا يوجد مخزن محكم الإغلاق بنسبة ١٠٠٪)؛ مما يؤدى إلى التخلص من الغازات التى ينتجها المحصول المخزن أولاً بأول. ويتم إحداث التوازن بين الهواء الداخل والهواء المسحوب لتحقيق الضغط المنخفض المطلوب داخل المخزن.

يتعين تصميم هذه النوعية من المخازن لتتحمل الضغط المنخفض دون أن ينهار داخليًا. ويتحقق ذلك بأن يستخدم فى الإنشاء ألواح من الصلب.

ويمكن التحكم فى مستوى الأكسجين فى المخزن وقياسه بسهولة وبدقة، وذلك عن طريق قياس الضغط داخل المخزن باستعمال مقياس الضغط المنخفض vacuum gauge.

وإذا ما استعملت درجة الحرارة المناسبة للمحصول، فإن التخزين تحت ضغط منخفض يطيل من فترة بقاء المنتج بحالة جيدة (جدول ١٣-٢)، وإن لم يمكن التثبيت من هذا التأثير فى كل الحالات (Thompson ١٩٩٨)؛ ففى إحدى الدراسات، لم يمكن الحصول على أى فروق تذكر بين الحاصلات المعبأة فى العبوات العادية وتلك المعبأة تحت تفريغ حتى ٥٠ كيلو باسكال. وقد اشتملت تلك الدراسة على الكرفس والخس والبروكولى والعنب والفاصوليا الخضراء والكنتالوب والفراولة على ٤°م، والبروكولى والبامية والطماطم على ٨°م (Knee & Aggarwal ٢٠٠٠).

التخزين تحت ضغط أعلى من الضغط الجوى

يعد تعريض الخضر والفاكهة لضغط أعلى من الضغط الجوى من تقنيات ما بعد

الحصاد. ويمكن أن يصل الضغط الزائد – أحياناً – حتى ٩٠٠٠ ضغط جوى، وهو لا يفيد إلاّ فى مكافحة الكائنات الدقيقة، ويجرى لفترات قصيرة. ولكن قد يستخدم الضغط المرتفع أثناء التخزين hyperbaric storage؛ فقد أمكن شحن المشروم تحت ٣٥ ضغط جوى دون أن يحدث له أى ضرر، كما لم يتأثر معدل تنفس المشروم بالضغط العالى، ولكن فقده للرطوبة أثناء التخزين انخفض جوهريًا بالضغط العالى.

جدول (١٣-٢): مقارنة مدى صلاحية بعض المنتجات البستانية للتخزين فى كل من الجو العادى، والجو المتحكم فى مكوناته، وتحت ضغط منخفض (عن Burg ٢٠٠٤).

المحصول	أقصى فترة تخزين (يوم)		
	الجو العادى	الجو المتحكم فى مكوناته	تحت ضغط منخفض
التفاح	٢٠٠	٣٠٠	< ٣٠٠
الأسبرجس	١٤-٢١	فائدة قليلة – روائح منفرة	٢٨-٤٢
الزبدية	٣٠	٤٢-٦٠	١٠٢
الموز	١٤-٢١	٤٢-٥٦	١٥٠
أزهار القرنفل	٢١-٤٢	عديم الفائدة	١٤٠
الكريز	١٤-٢١	٢٨-٣٥	٥٦-٧٠
الخيار	٩-١٤	> ١٤ فائدة قليلة	٤٩
الفلفل الحلو	١٤-٢١	عديم الفائدة	٥٠
الليمون الأضاليا	١٤-٢٨	فقد العصير	< ٩٠
المانجو	١٤-٢١	عديم الفائدة	٤٢
عيش الغراب	٥	٦	٢١
الباباظ	١٢	> ١٢ فائدة قليلة	٢٨
الكمثرى	٦٠	١٠٠	٢٠٠
أزهار البرْوطية **protea**	> ٧	عديم الفائدة	< ٣٠
الورد	٧-١٤	عديم الفائدة	٤٢
السبانخ	١٠-١٤	فائدة قليلة	٥٠
الفراولة	٧	> ٧ روائح منفرة	٢١
طماطم (خضراء مكتملة التكوين)	٧-٢١	٤٢	٨٤

إن تعرض منتجات الخضر الطازجة المخزنة لتركيزات عالية من الأكسجين يمكن أن يحفز بعض تأثيرات الإثيلين. بما فى ذلك تأثيره على النضج والشيخوخة وعلى العيوب الفسيولوجية التى يستحثها الإثيلين، مثل مرارة الجزر والتبقع الصدئ فى الخس. وبينما تثبط التركيزات العالية من الأكسجين نمو بعض الأنواع البكتيرية والفطرية. فإن ذلك التأثير يكون أقوى إذا ما صاحبت الزيادة فى تركيز الأكسجين (٣٠–٨٠ كيلو باسكال) زيادة أخرى فى تركيز ثانى أكسيد الكربون (١٥–٢٠ كيلو باسكال) (Kader & Ben-Yehoshua ٢٠٠٠).

الفصل الرابع عشر

التعبئة والتخزين والشحن فى جو معدل

إن الجو المعدل modified atmosphere (اختصارًا: MA) هو الجو الذى ينخفض فيه تركيز الأكسجين عن التركيز الطبيعى (٢١٪)، ويزيد فيه تركيز ثانى أكسيد الكربون عن التركيز الطبيعى (٠,٠٣٪)، ولكن لا يتم التحكم فى نسب الغازين بصورة دقيقة كما فى حالة الجو المتحكم فى مكوناته controlled atmosphere (اختصارًا: CA – موضوع الفصل الثالث عشر).

ويتم توفير الجو المعدل بعدة وسائل – هى موضوع هذا الفصل – وأكثرها شيوعًا التعبئة فى عبوات من أغشية خاصة تسمح بنقص تركيز الأكسجين فى هواء العبوة – تدريجيًّا – إلى المستوى المناسب. فى الوقت الذى يزيد فيه – تدريجيًّا كذلك – تركيز ثانى أكسيد الكربون فى هواء العبوة إلى المستوى المناسب، وتعرف تلك العبوات باسم "عبوات الجو المعدل" modified atmosphere packages (اختصارًا: MAP).

إن تعبئة الخضر والفاكهة الطازجة فى عبوات الجو المعدل يعنى بها وضع المنتجات النشطة فى التنفس داخل عبوات من أغشية بوليمرية polymeric films مع لحامها لكى يصبح الهواء داخل العبوة معدلاً مع تنفس المنتج بداخلها؛ حيث ينخفض تركيز الأكسجين، ويزاداد فى الوقت ذاته تركيز ثانى أكسيد الكربون؛ فينخفض بذلك أيض المنتج وما قد يوجد به من مسببات مرضية؛ فتزداد فترة تحمله للتخزين. وإلى جانب ذلك التأثير للـ MAP فإنها تعمل على تحسين المحافظة على رطوبة المنتج، التى قد يكون لها تأثير أكبر على حفظ جودته عن تأثير الهواء المعدل. هذا إلى جانب أن العبوات تعزل المنتج عن الجو الخارجى؛ بما يمنع تعرضه لأى ملوثات مرضية خارجية (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

وتستعمل لذلك أغشية رقيقة نسبيًّا (١٠ ميكرون) لتوفير حاجز أمام فقد بخار الماء دون التأثير فى انتشار أى من الأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون أو الإثيلين.

نظريات تكوين الجو المعدل فى عبوات الجو المعدل

عندما يُحكم إغلاق وزن معين من المنتج الطازج داخل عبوة بلاستيكية، فإنها تستهلك ما بداخل العبوة من أكسجين – تدريجيًا – فى الوقت الذى تُنتج فيه ثانى أكسيد الكربون بفعل التنفس. ومع انخفاض تركيز الأكسجين بداخل العبوة إلى أقل من ١٠٪ ينخفض معدل التنفس وينخفض معه استهلاك الأكسجين. وفى الوقت ذاته يتحرك الأكسجين الخارجى من خلال غشاء العبوة إلى داخلها، فى الوقت الذى ينتشر فيه ثانى أكسيد الكربون نحو الخارج. وتكون حركة الأكسجين وثانى أكسيد الكربون عبر الغشاء متناسبة مع الانخفاض فى تركيز الأكسجين والزيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون.

هذا إلا أن معدل استنفاد الأكسجين يعتمد على العوامل التالية:

١- وزن المنتج فى العبوة.

٢- درجة الحرارة.

٣- معدل تنفس المنتج، وهو الذى يختلف – طبيعيًا – باختلاف المنتج والصنف وظروف الإنتاج، وظروف الإنتاج، ومعاملات التداول بعد الحصاد.

٤- معدل انتشار غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون خلال غشاء العبوة، الأمر الذى يتوقف على ضغط غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون داخل وخارج العبوة.

يتوقف معدل حركة الأكسجين خلال الغشاء على مساحة مسطح العبوة، وسمك الغشاء وطبيعته الكيميائية. ويمكن زيادة نفاذية الغشاء بتثقيبه بثقوب دقيقة (كما فى المنتج التجارى LifeSpan) تسمح بنفاذ الأكسجين إلى داخل العبوة بالقدر المناسب.

ويحدث الثبات فى محتوى هواء الـ MAP عندما يكون استهلاك المنتج داخل العبوة من الأكسجين مساوٍ لما يمر من خارج العبوة إليها، وعندما يكون إنتاج المنتج من ثانى أكسيد الكربون مساوٍ لما يمر منه خلال غشاء العبوة إلى الهواء الخارجى، الأمر الذى يحدث عند ثبات معدل التنفس. وهذه العملية يمكن التحكم فيها بتعديل مخلوط الغازين فى هواء العبوة وقت إحكام غلقها.

ولدرجة الحرارة تأثيرها ليس فقط على معدل تنفس المنتج المعبأ. ولكن كذلك على مدى نفاذية غشاء العبوة لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، حيث تزداد بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة (Beaudry ٢٠٠٠، و Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

ويتم التحكم فى حرارة المنتج داخل الـ MAP بتمرير الهواء البارد حول العبوات، علمًا بأن الغشاء وما بداخله من هواء يمنعا توصيل الحرارة ويبطئان من كفاءة عملية التبريد. ولذا ..يجب ألا تزيد المسافة بين الغشاء الخارجى ومركز المنتج المعبأ فيها عن قدر معين للمحافظة على برودة المنتج؛ الأمر الذى يتناسب عكسيًا بزيادة معدل تنفس المنتج، فبينما يجب ألا تزيد تلك المسافة عن ١٤سم فى البروكولى للمحافظة على حرارته على ١ °م، فإنها يمكن أن تزيد فى الكمثرى إلى ٥٠سم (عن Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

إن أصعب ما فى تقنية عبوات تحوير الجو MAP هو التوصل إلى الجو الثابت المناسب داخل العبوة؛ ذلك لأن ذلك الجو دائم التغيير ويصعب التحكم فيه.

وتعد الحرارة أكثر العوامل المؤثرة فى حالة توازن الجو. ولسوء الحظ فإن سلسلة التبريد لا يُحافظ عليها بصورة دائمة خلال كل مراحل التسويق. ويؤدى كسر تلك السلسلة فى أى مرحلة – مثل أثناء التحميل أو التفريغ – إلى رفع حرارة المنتج، ويؤدى ذلك الارتفاع – ولو لدرجات قليلة – إلى زيادة معدل التنفس وانخفاض تركيز الأكسجين تحت المستوى الموصى به؛ مما قد يحفز التنفس اللاهوائى، مع ما يرافق ذلك من تكوين طعم كحولى غير مرغوب فيه، وعدم صلاحية المنتج للتسويق.

إن أفضل تأثير للجو المعدل فى زيادة فترة الصلاحية للتخزين هو عندما يكون تركيز الأكسجين عند أقل مستوى ممكن لا يسمح بحدوث تنفس لاهوائى؛ الأمر الذى يحمل معه أكبر المخاطر. فإذا ما ازداد معدل التنفس كنتيجة لحدوث ارتفاع بسيط فى درجة الحرارة، فإن مستوى الأكسجين سوف ينخفض عن الحد الحرج، ويحدث – بالتالى – التنفس اللاهوائى. ويحدث الأمر ذاته فى الجو الذى تكون فائدته مردها إلى تركيز ثانى أكسيد الكربون المرتفع، حيث يؤدى الارتفاع فى درجة الحرارة إلى زيادة

معدل التنفس وازدياد تركيز ثانى أكسيد الكربون عن الحد الحرج؛ الأمر الذى يؤدى إلى حدوث أضرار بالمنتج (Jobling ٢٠٠٧أ).

ويتأثر تركيز مختلف الغازات (الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين) داخل أنسجة المنتج الطازج بعملية تبادل الغازات بين الأنسجة وخارجها تبعًا للمعادلة التالية:

$$-ds/dt = (C_{in} - C_{out})\ DR$$

حيث إن:

$-ds/dt$: معدل انتقال الغاز خارج المنتج.

C_{in} : تركيز الغاز داخل أنسجة المنتج.

C_{out}: تركيز الغاز خارج أنسجة المنتج.

D : معامل انتشار الغاز فى الهواء.

R : ثابت خاص بكل محصول.

وتنتج الشركات أغشية يمكنها إطالة فترة صلاحية المنتجات الطازجة للتخزين. ومنها Maxifresh، و Gelpack، و Xtend (Thompson ١٩٩٨).

آليات تعديل الهواء فى عبوات الجو المعدل

إن تعديل مكونات هواء العبوة قد يتم بطريقة سلبية من خلال تنفس المنتج المعبأ واستهلاكه للأكسجين وإطلاقه لثانى أكسيد الكربون، أو بطريقة نشطة يتم فيها إحلال هواء العبوة بآخر ذات تركيزات محددة من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والنيتروجين. وتختلف المنتجات فى مدى تحملها لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون.

أولاً: الآلية السلبية

يتغير تركيب الهواء فى الآلية السلبية بفعل تنفس المنتج. وذلك بمعدل يعتمد على تنفس المنتج وخصائص الغشاء، إلى أن نصل إلى حالة تعادل بين نفاذ الغشاء للأكسجين واحتياجات تنفس المنتج من الغاز.

وتتوقف الآلية السلبية على العوامل التالية:

١- تنفس المنتج وخصائص نفاذيته لانتشار الغازات:

بينما ينتشر الأكسجين من خارج المنتج إلى مركزه فإن ثانى أكسيد الكربون يسلك فى انتشاره طريقًا عكسيًا. ويتحدد انتشار الغازات داخل المنتج بكل من معدل التنفس، ومرحلة النضج أو العمر الفسيولوجى، وحجم وكتلة المنتج، والممرات التى يحدث من خلالها الانتشار والحواجز التى تقف فى طريقه، وخصائص جزيئات الغاز، وتركيز الغاز فى الجو المحيط بالمنتج، ودرجة الحرارة.

أما معدل تنفس المنتج المعبأ فى أغشية بوليمرية فإنه يعتمد على كل من نوع المنتج، ومرحلة النضج، وحالته الفيزيائية، وتركيز الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين داخل العبوة، وكمية المنتج داخل العبوة، ودرجة الحرارة، وربما الإضاءة.

٢- خصائص الغشاء ونفاذيته:

يتوقف انتشار الغاز عبر الغشاء على تركيب الغشاء، ونفاذيته لغازات معينة، وسمكه، ومساحته، وتدرج التركيز عبر الغشاء، ودرجة الحرارة، والاختلاف فى الضغط عبر الغشاء.

هذا .. ويتوفر نوعان من أغشية الـ MAP السلبية، هما:

أ- الأغشية المثقبة تثقيبًا دقيقًا microperforated:

تثقب الأغشية بتثقيبات تعتمد على أشعة الليزر أو الحرارة أو الدبابيس لزيادة معدل توصيل الغشاء للأكسجين. ولهذه الأغشية قدرة منخفضة على الاستجابة للتغيرات الحرارية، مع نسبة نفاذية لثانى أكسيد الكربون/الأكسجين تقدر بحوالى ١,٠؛ مما يؤدى إلى جعل مستويات الأكسجين منخفضة إلى متوسطة، مع زيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون.

ب- الأغشية الدقيقة الثقوب بطبيعتها microporous membranes:

تتميز تلك الأغشية بارتفاع معدل توصيلها للأكسجين. كما أن لبعضها قدرة متوسطة للاستجابة للتغيرات الحرارية؛ مما تقل معه الأضرار التى يمكن أن تحدث عند ارتفاع

درجة الحرارة، ولبعضها الآخر قدرة منخفضة للاستجابة للتغيرات فى درجة الحرارة (Lange ٢٠٠٠).

٣- تركيز الغازات عند حالة التوازن:

بعد فترة قصيرة من التأقلم تستقر حالة من الثبات داخل العبوة التى يكون غشاؤها سليمًا، وذلك بمجرد أن تتحقق العلاقة المناسبة بين متغيرات المنتج والعبوة. فالأكسجين الموجود داخل العبوة يُستنفد تدريجيًا بواسطة المنتج أثناء تنفسه فى الوقت الذى ينتج فيه عن التنفس كمية مماثلة تقريبًا من ثانى أكسيد الكربون. يؤدى هذا التغير فى تركيز الغازين إلى نشأة تحدر gradient يترتب عليه انتشار الأكسجين من خارج العبوة إلى داخلها، وانتشار ثانى أكسيد الكربون من داخل العبوة إلى خارجها عبر الغشاء البوليمرى. هذا إلاّ أن هذا التحدر يكون صغيرًا فى البداية بدرجة لا تكفى لاستبدال كل الأكسجين المستهلك، أو لإخراج كل ثانى أكسيد الكربون المنتج. ويترتب على ذلك انخفاض فى تركيز الأكسجين وزيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل العبوة. ومع نشأة هذا الجو المعدل داخل العبوة. يبدأ معدل التنفس فى الانخفاض استجابة لهذا الوضع الجديد؛ مما يترتب عليه زيادة فى محتوى الأكسجين، ونقصًا فى محتوى ثانى أكسيد الكربون؛ وبذا .. يصل تركيز الغازات إلى حالة جديدة من التوازن.

وعندما يكون استنفاذ الأكسجين مساويًا لانتشاره إلى داخل العبوة، وإنتاج ثانى أكسيد الكربون مساويًا لانتشاره إلى الخارج تكون العبوة قد وصلت إلى حالة من التوازن الثابت.

٤- العوامل الخارجية:

إن أى تغير فى درجة الحرارة يؤثر فى معدل التنفس وحالة التوازن التى يتم التوصل إليها داخل العبوة ما لم يتغير – كذلك – معدل انتشار الغازات عبر الغشاء – تأثرًا بالتغير فى درجة الحرارة – بنفس درجة تأثر معدل التنفس بها. هذا .. علمًا بأن ارتفاع الحرارة يؤدى غالبًا إلى انخفاض فى تركيز الأكسجين وزيادة فى تركيز ثانى أكسيد

الكربون داخل أنسجة المنتج الشحمية (غير الورقية)، كما يزداد معدل النتح من تلك الأنسجة. وبصورة عامة يزداد معدل التنفس بمقدار ٢–٣ أضعاف مع كل ارتفاع فى الحرارة قدره ١٠ °م، فى الوقت الذى تزداد فيه نفاذية الغشاء للغازات بمقدار ٢–٥ أضعاف. ويعنى ذلك أن الغشاء الذى يعمل على تكوين جو مناسب فى الحرارة المنخفضة قد يؤدى إلى تكوين جو ضار بالمنتج فى الحرارة العالية.

كذلك يؤثر التغير فى درجة الحرارة فى درجة ذوبان الغازات حيث تزداد بارتفاع الحرارة؛ مما يؤثر – بالتالى – على انتشارها بين العصير الخلوى والمسافات بين الخلايا وعبر الغشاء.

وأغلب الأغشية تكون نفاذيتها منخفضة لبخار الماء؛ ولذا .. فإن الرطوبة النسبية العالية التى تتكون داخل العبوة جراء زيادة النتح يمكن أن تؤدى إلى حدوث تكثف مائى داخل العبوة يناسب نمو الفطريات والبكتيريا المسببة للأعفان. ولقد استخدمت "باكتات" تحتوى على مواد ماصة للرطوبة مثل $CaSiO_4$، و KCl، و xylitol، و sorbitol توضع داخل العبوات بهدف التحكم فى الرطوبة النسبية.

كذلك فإن تواجد الرطوبة الحرة المتكثفة على السطح الداخلى لأغشية العبوات (أو سطحها الخارجى) يمكن أن يؤثر فى نفاذيته للغازات، ولكن بعض الأغشية تتمدد بامتصاصها للرطوبة وتزداد مع ذلك التمدد نفاذيتها للغازات.

ومع انخفاض ضغط بخار الماء داخل العبوات يمكن أن تذبل وتتعطن قشرة بعض الثمار؛ الأمر الذى تزداد معه مقاومتها لانتشار الغازات (Kader وآخرون ١٩٨٩).

ثانياً: الآلية النشطة

يتم تعديل الهواء داخل عبوات الجو المعدل – منذ بداية التعبئة، إما باستبدال هواء العبوة بآخر معدل بالنسب المطلوبة، وإما باستخدام مواد ممتصة أو مدمصة، كما يلى:

١– عند اتباع طريقة استبدال هواء العبوة، فإن الهواء الموجود داخل العبوة يتم سحبه بتعريضه لتفريغ بسيط، واستبداله بهواء يحتوى على النسب المرغوب فيها من الغازات. ويعنى ذلك أن الهواء يكون معدلاً بعد التعبئة مباشرة.

٢– أما المواد الممتصة absorbers أو المدمصة adsorbers للأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون أو الإثيلين أو الرطوبة فتتم إضافتها للتحكم فى تركيز تلك الغازات، كما يلى:

أ– ممتصات الأكسجين:

تعتمد معظم المواد التجارية المتصة للأكسجين على مسحوق الحديد كمادة نشطة. وهى غالباً تستخدم أكسيد الحديد FeO الذى يتحول إلى Fe_2O_3 ، و Fe_3O_4 وأيدروكسيداتها بعد امتصاص الأكسجين. ومن الممكن حساب الكمية المناسبة من FeO لإحداث الخفض المرغوب فيه من الأكسجين.

ب– ممتصات ثانى أكسيد الكربون:

من بين المواد التى تستعمل فى التخلص من ثانى أكسيد الكربون الزائد من حجرات الـ CA فى المخازن ماء الجير المحضر لتوه من الجير المطفى $Ca(OH)_2$، والفحم المنشط، وأكسيد المغنيسيوم.

جـ– مُمتصات الإثيلين:

من بين المواد التى يمكن استعمالها لامتصاص الإثيلين فى عبوات الهواء المعدل ما يلى:

(١) برمنجنات البوتاسيوم:

تدمص البرمنجنات على الفيرميكيوليت أو السيليت celite أو جل السيليكا أو أقراص الألومنيوم، لتقوم بأكسدة الإثيلين إلى ثانى أكسيد كربون وماء.

(٢) مسحوق طمى البناء:

يمكن إضافة هذا المسحوق إلى مادة الغشاء، حيث يمتص الإثيلين وغازات أخرى، إلا أنه يعطى الغشاء مظهرًا بنيًا غير رائق.

(٣) الهيدروكربونات (مثل الـ sequalane والـ Apiezon)، والسيليكونات (مثل phenylmethylsilicone).

(٤) كربونات الحديدوز:

تتأكسد المادة فى الهواء الرطب إلى أيدروكسيد الحديد وثانى أكسيد الكربون، كما يلى:

$$FeCO_3 + O_2 + 6H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 6CO_2$$

ويشترط فى المواد الممتصة للغازات ما يلى:

أ- أن تكون فعالة فى امتصاص الغاز بمعدل مناسب.

ب- ألا تكون ضارة للإنسان.

جـ- أن تحتفظ بثباتها عند التخزين.

د- أن تكون صغيرة فى الحجم ولكن ذا قدرة عالية على امتصاص الغاز (Kader وآخرون ١٩٨٩).

وقد توضع أكياس صغيرة sachets من حامض الأسكوربيك مع مواد أخرى (وهى التى تنتج كذلك ثانى أكسيد الكربون)، وأخرى تحتوى على الكاثيكول cathecol مع مواد أخرى لأجل امتصاص ثانى أكسيد الكربون. ومن الأمثلة التجارية للنوعية الأولى Ageless G، و Toppan C، و Vitalon GMA (وهى التى تحتوى على الحديد إلى جانب حامض الأسكوربيك)، أما النوعية الثانية من الـ sachets (التى تحتوى على الكاثيكول) فمن أمثلتها التجارية Tamotsu (Thompson ١٩٩٨).

د- التحكم فى الرطوبة النسبية:

يستخدم فى التحكم فى الرطوبة النسبية داخل عبوات المنتجات الطازجة مركبات مثل ملح الصوديوم لحامض البولى أكليرك polyacrylic acid، وكربونات البوتاسيوم، وجل السيليكا silica gel (Liu & Chiang ٢٠٠٠).

أنواع أغشية عبوات الجو المعدل وخصائصها

الشروط التى يجب أن تتوفر فى الأغشية

إن من بين الصفات المرغوب فيها فى أغشية عبوات الجو المعدل (MAP) للمنتجات الطازجة ما يلى:

١– أن تسمح بنفاذ مختلف الغازات بالمعدلات المرغوب فيها.

٢– أن تكون ذات شفافية عالية وبراقة المظهر.

٣– أن تكون خفيفة الوزن.

٤– أن تكون مقاومة للتمزق والخدش والامتداد تحت تأثير الشدّ.

٥– أن يمكن لحامها بحرارة منخفضة نسبيًّا.

٦– ألا تكون سامة.

٧– ألا تتفاعل مع المنتج.

٨– أن تكون مقاومة للحرارة والأوزون بصورة جيدة.

٩– أن تتحمل عوامل التجوية.

١٠– أن تكون مناسبة تجاريًّا.

١١– أن تكون سهلة التداول.

١٢– أن يسهل الطباعة عليها لأغراض التعريف ببيانات المنتج.

١٣– أن تستخدم بكفاءة مع آلات التعبئة.

١٤– أن يروق منظرها للمستهلك.

١٥– أن يكون من السهل فتحها (Kader وآخرون ١٩٨٩).

أنواع الأغشية

يكون معدل تنفس بعض المنتجات – مثل البروكولى وعيش الغراب – عاليا جدًا لدرجة أن تعبئتها فى أغشية من البوليثيلين العادى يكون مصاحبا بتغير سريع للغاية فى نسبتى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون داخل العبوة، مما يؤدى إلى تخمر المنتج. ولذا .. كان الاتجاه نحو إنتاج أغشية تجارية ذا درجة عالية من النفاذية للغازات، ولكن بمعدلات معينة تسمح بالحفاظ على التركيز المطلوب من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء. وقد أُنتج لأجل ذلك أغشية استخدم فى تصنيعها مركبات جديدة، أو أضيف إليها مركبات جديدة، أو ثُقِّبت تثقيبا دقيقا.

إن الأغشية التى تتحسن فيها معدلات نفاذيتها للغازات بسبب طبيعتها البوليمرية تتكون – عادة – من اثنين أو ثلاثة أنواع من البوليمرات، حيث يكون لكل بوليمر منها وظيفة خاصة. مثل المتانة، أو الشفافية. أو تحسين النفاذية للغازات بقدر يناسب المحصول. كذلك فإن الأغشية قد تتكون من صفائح مضغوطة لتحقيق الخصائص المطلوبة. ومن بين أنواع هذه الأغشية تلك التى تحتوى على ٦٪–١٨٪ ethylene-vinyl acetate، والبوليثيلين ذو الكثافة المنخفضة. والأغشية ذات رقائق الـ polypropylene، والـ styrene butadiene block polymer films. والـ ultra low density ethylene octene polymer films، والـ polyolefin plastomer octene copolymer films.

كذلك فإن البوليمر البلاستيكى قد يُخلط بمادة خاملة غير عضوية مثل كربونات الكالسيوم وأكسيد السيليكون تسمح بتكوين ثقوب دقيقة. ويمكن التحكم فى نفاذية الغازات بالتحكم فى نسبة المادة الخاملة المستعملة، وحجم جزيئاتها. هذا ويتراوح قطر الثقوب عادة من ٠,١٤ إلى ١,٤ ميكرون. ومن أمثلة الأغشية التى من هذا النوع ما يعرف باسم FreshHold، و Intellipac Breathable Membrane.

إن الأغشية التى توجد فيها ثقوب دقيقة يمكن أن يكون معدل نفاذيتها للغازات عال جدًا. ويتراوح قطر تلك الثقوب – عادة – بين ٤٠ و ٢٠٠ ميكرونًا. وبالتحكم فى قطر الثقوب يمكن التحكم فى معدل النفاذية للغازات بما يناسب المنتج. ولقد أنتجت أغشية من هذا النوع لتناسب مختلف المحاصيل، مثل: عيش الغراب، والفراولة، والنكتارين، والكرات، والأسبرجس، والطماطم الكريزية. والذرة السكرية (American Society for Plasticulture-Roming & Mir – الإنترنت – ٢٠٠٧).

إن أهم العوامل المؤثرة فى معدل نفاذ الأكسجين من الغشاء – والتى يجب أن تؤخذ فى الحسبان عند تصنيعه – تركيب البوليمر، وسمك الغشاء جدول (١٤–١)، ونسب طبقاته، بالإضافة إلى العوامل الخاصة بالمنتج الذى سيعبأ فيه (مثل النسب المستهدفة المثلى من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون لذلك المنتج، ومعدل استهلاكه للأكسجين)

وحرارة التخزين. ونسبة حجم المنتج إلى المساحة الخارجية للعبوة. والمساحة الخارجية للعبوة. والحجم الداخلى من العبوة الذى لا يكون مشغولاً بالمنتج (Lange ٢٠٠٠).

جدول (١٤-١): الوحدات المستخدمة فى وصف سمك الأغشية البلاستيكية.

جيج Gauge	ملليمتر mm	ميكرون µ
٤	٠,٠٠١	١
٤٨	٠,٠١٢	١٢
٥٠	٠,٠١٢٥	١٢,٥
١٠٠	٠,٠٢٥	٢٥
١٥٠	٠,٠٣٧٥	٣٧,٥
٢٠٠	٠,٠٥	٥٠
٤٠٠	٠,١	١٠٠
٥٠٠	٠,١٢٥	١٢٥

خصائص الأغشية

إن اختيار الغشاء بالنفاذية المطلوبة لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء يعد أمرًا حاسمًا لنجاح الـ MAP. فإذا كان الغشاء شديد النفاذية للأكسجين فإن المنتج يتنفس وينتج الإثيلين وينضج. وإذا ما كانت النفاذية ضعيفة جدًا. فإنه سريعًا ما يصبح هواء العبوة مناسبًا للتنفس اللاهوائى وما يصاحبه من تخمرات.

ويوضح جدولا (١٤-٢. و ١٤-٣) نفاذية بعض الأغشية المستخدمة فى تعبئة الخضر والفاكهة. وعمومًا فإن الأغشية التى تكون نفاذيتها لثانى أكسيد الكربون إلى الأكسجين حوالى ٣:١ هى الأكثر مناسبة. ومن أمثلة الأغشية التى تكون نفاذيتها بتلك النسبة البوليثيلين قليل الكثافة. والبولى فينيل كلورايد. والأغشية المزدوجة من الـ EVA مع الـ LDPE. تؤمن هذه النوعية من الأغشية نفاذا لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بنفس معدل إنتاجهما بالتنفس. كما أنها تشكل – كذلك – حاجزا أمام فقد الرطوبة.

جدول (١٤-٢): نفاذية بعض أنواع الأغشية المستعملة فى عبوات الجو المعدل – للخضر والفاكهة الطازجة – لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون.

النفاذية[أ]		
لثانى أكسيد الكربون	للأكسجين	نوع الغشاء
٧٧٠٠٠-٧٧٠٠	١٣٠٠٠-٣٩٠٠	Polyethylene, low density (LDPE)
٨١٣٨-٤٢٦٣	٢٢٤٨-٦٢٠	Polyvinyl chloride (PVC)
٢١٠٠٠-٧٧٠٠	٦٤٠٠-١٣٠٠	Polypropyelne (PP)
٢٦٠٠٠-١٠٠٠٠	٧٧٠٠-٢٦٠٠	Polystyrene (PS)
١٥٠-٥٢	٢٦-٨	Saran (PVDC)
٣٩٠-١٨٠	١٣٠-٥٢	Polyester (PET)

أ- يعبر عن النفاذية بالسنتيمترات المكعبة لكل متر مربع لكل mil (٠,٠٠١ بوصة) سمكًا يوميًا لكل ضغط جوى ($cm^3/m^2/mil/day/atm$).

جدول (١٤-٣): خصائص النفاذية لبعض أنواع الأغشية المتاحة للاستعمال (عن Kader وآخرين ١٩٨٩).

	النفاذية [أ]			
MVTR[ب]	ثانى أكسيد الكربون/الأكسجين	ثانى أكسيد الكربون	الأكسجين	الغشاء
	٥,٩-٢,٠	٧٧٠٠٠-٧٧٠٠	١٣٠٠٠-٣٩٠٠	Polyethylene, low density
	٥,٩-٣,٣	٢١٠٠٠-٧٧٠٠	٦٤٠٠-١٣٠٠	Polypropylene
	٣,٨-٣,٤	٢٦٠٠٠-١٠٠٠٠	٧٧٠٠-٢٦٠٠	Polystyrene
١٣٩٥-١١٦٣	٧,٣-٦,٧	١٥٥٠٠-١٣٣٣٠	٢٣٢٥-١١٨٤	Cellulose acetate
١٧١-١٤٠	٦,٩-٣,٦	٨١٣٨-٤٢٦٣	٢٢٤٨-٦٢٠	Polyvinyl chloride
٣,١	٣,٨	٥٩	١٥,٥	Polyvinylidene chloride
١٠,٩-٧,٨	٧,٦-٤,٢	٢٠٩٢٥٠-٤٤٦٤	٥٠٣٧٥-٥٨٩	Rubber Hydrochloride
١٢٦	٢,٠	٣١	١٥,٥	Nylon-6

تابع جدول (١٤-٣).

الغشاء	النفاذية [أ]			MVTR [ب]
	الأكسجين	ثاني أكسيد الكربون	ثاني أكسيد الكربون/الأكسجين	
Polyester	٥٢-١٣٠	١٨٠-٣٩٠	٣,٠-٣,٥	
Polycarbonate	١٣٩٥٠-١٤٧٢٥	٢٣٢٥٠-٢٦٣٥٠	١,٧-١,٨	١٠.٩-١٧.١
Ethylcellulose	٣١٠٠٠	٧٧٥٠٠	٢,٥	٣١٠
Methylcellulose	١٢٤٠	٦٢٠٠	٥,٠	٣١٠٠
Polyvinyl alcohol	قريبًا من الصفر	قريبًا من الصفر	—	١٢٤٠
Polyvinyl fluoride	٥٠	١٧١	٣,٤	—
Polychlorotriflouro-ethylene	١١,٨	١٢٤	١٠,٥	٠.٣
Cellulose triacetate	٢٣٢٥	١٣٦٤٠	٥.٩	٧٤-٩٣
Vinyl chlorideacetate	٢٣٣	٨٥٣	٣.٧	٦٢

أ- النفاذية بالسنتيمتر المكعب لكل mil (٠,٠٠١ بوصة = ٠,٠٢٥٤ ملليمتر) لكل متر مربع من الغشاء في اليوم عند ضغط جوي واحد.

ب- MVTR = معدل انتقال بخار الماء moisture vapor transmission rate معبرًا عنه بالسنتيمتر المكعب لكل يوم لكل متر مربع من الغشاء لكل mil واحد.

ويمكن تقسيم نفاذية الأغشية حسب كثافتها، كما يلي:

١- أغشية قليلة الكثافة low density:

تنتج هذه الأغشية ببلمرة الإثيلين لإنتاج بوليمرات ذات سلسلة متفرعة. يتراوح وزنها الجزيئي بين ١٤٠٠، و ١٤٠٠٠، وكثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠.٩١٠، و ٠.٩٣٥.

وتتراوح نفاذية هذه الأغشية ($cm^3 m^2\ day^{-1}$) للأكسجين بين ٣٩٠٠، و ١٣٠٠٠، ولثاني أكسيد الكربون بين ٧٧٠٠، و ٧٧٠٠٠ عند ضغط جوي واحد وعلى حرارة ٢٢-٢٥°م، ورطوبة نسبية متباينة.

٢- أغشية متوسطة الكثافة medium density:

تتراوح كثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠.٩٢٦، و ٠.٩٤٠.

وتتراوح نفاذيتها (cm^{-3} m^2 day^{-1}) للأكسجين بين ٢٦٠٠، و ٨٢٩٣، ولثانى أكسيد الكربون بين ٧٧٠٠، و ٣٨٧٥٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠.٠٢٥٤ ملليمتر) على ٢٢–٢٥°م، ورطوبة نسبية متباينة.

٣– أغشية عالية الكثافة high density:

تتكون هذه الأغشية من تركيب بللورى بنسبة ٧٥٪ –٩٠٪. تكون جزيئاته بترتيب خطى بقليل من التفرعات، ويتراوح وزنها الجزيئى بين ٩٠٠٠٠، و ١٧٥٠٠٠، وكثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠,٩٩٥، و ٠,٩٧٠.

وتتراوح نفاذيتها (cm^3 m^2 day^{-1}) للأكسجين بين ٥٢٠، و ٤٠٠٠، ولثانى أكسيد الكربون بين ٣٩٠٠، و ١٠٠٠٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠.٠٢٥٤ ملليمتر) على ٢٢–٢٥°م ورطوبة نسبية متباينة.

٤– أغشية خطية قليلة الكثافة linear low density:

تجمع هذه الأغشية بين خصائص أغشية البوليثيلين القليلة الكثافة والعالية الكثافة. وهى ذات نسبة أعلى من التركيب البلوى عما فى الأغشية قليلة الكثافة، ولكن بعدد متحكم فيه من التفرعات، مما يجعلها أكثر تحملاً وصلاحية للحام الحرارى. وهى تصنع من الإثيلين مع البيوتين butene، أو الهكسين hexene، والأوكتين octene.

تتراوح نفاذيتها (cm^3 m^2 day^{-1}) للأكسجين بين ٧٠٠٠، و ٩٣٠٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠.٠٢٥٤ ملليمتر) عند ٢٢–٢٥°م ورطوبة نسبية متباينة (Golob وآخرون ٢٠٠٢).

هذا .. وتفقد الأنسجة النباتية جزءًا من رطوبتها عندما تكون الرطوبة النسبية أقل من ٩٩٪ أو ٩٩.٥٪. ويؤدى فقد الرطوبة إلى ظهور ذبول أو تكرمشات على سطح معظم المنتجات عندما يتعدى الفقد ٤٪ إلى ٦٪ من الوزن الطازج الكلى. ولحسن الحظ، فإن معظم أغشية الـ MAP غير منفذة للرطوبة نسبيًا. وتكون الرطوبة النسبية قريبة من التشبع فى معظم العبوات حتى وإن كانت مثقبة. هذا مع العلم بأن الهواء المشبع

بالرطوبة يحتوى – عند ٢٠°م – على ٢,١٪ ماءً، بينما تكون الرطوبة النسبية فى الهواء الخارجي غالبًا بين ٣٠٪، و ٦٠٪، بما يعنى وجود تدرج فى بخار الماء قدره حوالى ١٪. أما التدرج فى الأكسجين فقد يكون أعلى بعدة مرات. وبسبب الفقد السريع للرطوبة من المنتج فى العبوات ذات الأغشية المثقبة فإن تأثيرها يكون أكبر على مستوى الأكسجين مما يكون على مستوى الرطوبة النسبية. فقد وجد أن التثقيب يؤدى إلى زيادة معدل تسرب الأكسجين ٤٠ مرة قدر تأثيره على زيادة تسرب بخار الماء.

مزايا وعيوب التخزين فى عبوات الجو المعدل

المزايا

إن أهم مزايا التعبئة فى العبوات المحورة للجو MAP – إلى جانب تأثيرها فى نسب مكونات الهواء داخل العبوة – يمكن أن تتضمن ما يلى:

١– تقليل التجريح السطحى بمنع التلامس بين المنتج ومادة الحاوية.

٢– تحسين حالة النظافة العامة بتقليل تلوث المنتج أثناء تداوله.

٣– احتمال منع تعرض المنتج للضوء؛ الأمر الذى يفيد فى منتجات مثل البطاطس والهندباء البلجيكية.

٤– المحافظة على رطوبة نسبية عالية وخفض الفقد الرطوبى.

٥– توفير حاجز يمنع انتشار الأعفان من وحدة لأخرى.

٦– من الممكن أن تتضمن العبوات مضادات فطرية أو مثبطات للسمطة.

٧– توفير وسيلة للتعريف بالعلامة التجارية (Kader وآخرون ١٩٨٩).

العيوب

إن من أهم المشاكل التى تواجه التوسع فى استعمال عبوات الهواء المعدل MAP ما يلى:

١– عدم توفر الأغشية المناسبة للمحصول المراد تعبئته فى كل الظروف، وخاصة فى حالات التغيرات الحرارية التى قد يتعرض لها المنتج أثناء تداوله؛ فالغشاء قد يكون

مناسبًا للمحصول في حرارة معينة، لكنه قد يتسبب في تكوين ظروف لاهوائية في حرارة أعلى.

٢- زيادة تكلفة التعبئة، وهي التي تقع – غالبًا – على عاتق المنتج أو المصدِّر.

٣- احتمال تعرض العبوات لأضرار فيزيائية أثناء التخزين والشحن؛ الأمر الذي قد يؤدي إلى تلف المنتج خلال الفترة الطويلة المتوقعة للتخزين أو الشحن باعتبار أن المنتج معبأ في MAP. ولذا .. يجب أن تكون الأغشية المستعملة لدنة، ولكن قوية بما فيه الكفاية لأن تتحمل عمليات التداول العادية (Kader & Watkins ٢٠٠٠).

٤- إن الأغشية البلاستيكية تؤثر في معدل برودة ودفئ المنتج؛ الأمر الذي يجب أخذه في الحسبان عند اختيار إجراءات التحكم الحراري للمنتجات المعبأة، ويمكن الحد من البطء في معدل تبريد المنتجات المعبأة بجعل أغشية العبوات مثقبة.

٥- إن تعبئة منتجات الخضر والفاكهة الطازجة في العبوات المحورة للهواء MAP يكون لها تأثيرات سلبية على نكهة الخضر، ليس فقط بسبب احتمالات حدوث التنفس اللاهوائي؛ فذلك أمر يجب تداركه والاحتياط له، وإنما يحدث الأثر السلبي على النكهة في حالات استمرار التخزين لفترات طويلة، حيث يقل إنتاج المنتجات المخزنة للمركبات المتطايرة التي تكسبها نكهتها المميزة (عن Mattheis & Fellman ٢٠٠٠).

٦- يعد تكثف بخار الماء على الجدار الداخلي للغشاء من المشاكل الشائعة للـ MAP؛ الأمر الذي يشجع النمو الفطري ويزيد من الإصابة بالأعفان، ويؤدي انخفاضا قدره ٠.٢°م في حرارة الغشاء إلى تكثف بخار الماء في العبوة إذا كانت الرطوبة النسبية داخل العبوة ٩٩٪ والحرارة ١٠°م. هذا بينما تتعرض حجرات المخازن المبردة إلى تقلبات حرارية تبلغ عدة درجات؛ مما يعني أن التكثف المائي أمر شائع الحدوث في أي MAP. ولحسن الحظ فإنه تتوفر معاملات خاصة لسطح الغشاء تؤدي إلى انتشار قطيرات الماء لتكون طبقة رقيقة متجانسة غير مرئية تقريبًا (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

٧- قد تزيد ظروف عبوات الجو المعدل من فرصة تكاثر مسببات أمراض الإنسان، مثل: *Shigella sonnei*، و *Listeria monocytogenes*، و *Echerechia coli*، و *Clostridium botulinum*، و *Salmonella* spp.

ويتأثر نمو تلك البكتيريا وكذلك مسببات الأعفان الأخرى بكل من نسبتي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، والرطوبة النسبية، ودرجة حرارة التخزين. فمثلاً .. يمكن أن تُثبط المستويات المنخفضة من الأكسجين والمرتفعة من ثاني أكسيد الكربون نمو البكتيريا السالبة لصبغة جرام، ولكنها تحفز نمو البكتيريا الموجبة لصبغة جرام، مثل بكتيريا حامض اللاكتيك. وقد تناسب ظروف التخزين نمو الكائنات الدقيقة المرضة للإنسان بينما تثبط تلك التي تفسد الغذاء؛ فيبدو الغذاء جيدًا رغم خطورته على الصحة. ومن المؤكد أن الخضر الطازجة المجهزة للاستهلاك تكون أكثر عرضة للنمو البكتيرى عن الخضر الصحيحة (American Society for Plasticulture-Roming & Mir – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وسائل تجنب الآثار السلبية للارتفاع فى درجة الحرارة

لتجنب الآثار السلبية لأى ارتفاع فى درجة الحرارة أثناء التخزين والشحن يوصى باتباع أى من الإجراءات التالية:

١- استعمال عبوات تسمح بتواجد تركيز من الأكسجين أعلى – نسبيًا – من التركيز الحرج عند الوصول إلى حالة التوازن. ولكن ذلك يكون على حساب فترة صلاحية المنتج للتخزين.

٢- الحرص التام على المحافظة الكاملة على سلسلة التبريد.

٣- فتح العبوات بمجرد حدوث ارتفاع فى درجة الحرارة تجنبا لحدوث تنفس لاهوئى، وهو أمر يصعب – غالبًا – تنفيذه.

٤- فتح العبوات بمجرد وصولها إلى أسواق الجملة (Jobling ٢٠٠٧أ).

مشاكل التعرض لتركيزات غير محتملة من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون

إن تعرض المنتج الطازج لمستويات من الأكسجين تقل عن قدرته على التحمل أو لمستويات من ثاني أكسيد الكربون تزيد على تلك القدرة – على حرارة معينة ولفترة معينة – يترتب عليه تعرض الأنسجة النباتية لحالة من الشدّ، تظهر نتائجها فى عدة

أعراض، منها النضج غير المنتظم. وظهور عيوب فسيولوجية، وتكوين طعم غير مقبول، وزيادة القابلية للإصابة بالأعفان.

ويبين جدولا (١٤-٤)، و (١٤-٥) تقسيمًا للخضر والفاكهة تبعًا لقدرتها النسبية على تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين أو المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون عند حفظها فى الحرارة المثلى والرطوبة النسبية المثلى لكل منها. وفى كل حالة .. يفترض أن الغاز الآخر يكون عند مستوى التركيز الطبيعى كما فى الهواء.

هذا .. وتنخفض حدود تحمل المستويات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون مع انخفاض تركيز الأكسجين. وبالمثل .. يزداد مستوى تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين مع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون. ويمكن لمنتج معين أن يتحمل لفترة قصيرة تركيزات أعلى من ثانى أكسيد الكربون أو تركيزات أقل من الأكسجين عن تلك المبينة.

وفى بعض المنتجات تتأثر القدرة على تحمل التركيزات المنخفضة من الأكسجين أو المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون على مرحلة النضج. وعلى سبيل المثال .. غالبًا ما تتحمل الثمار الناضجة مستويات من ثانى أكسيد الكربون أكثر ارتفاعًا عما تتحمله الثمار المكتملة التكوين غير الناضجة. كما أن المنتجات السابقة التجهيز تكون هى الأخرى أكثر تحملاً، لعدم وجود كثير من المعوقات لانتشار الغازات منها وإليها كما فى المنتجات الصحيحة (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

جدول (١٤-٤): تقسيم الخضر والفاكهة حسب تحملها للانخفاض فى تركيز الأكسجين (عن **Beaudry ٢٠٠٠**).

المستوى الذى يمكن تحمله (٪)	المنتج
≤ ٠,٠٥	الخضر الورقية المجهزة للمستهلك – خس الكابوتشا المجهز للمستهلك – السبانخ – شرائح الكمثرى المجهزة للمستهلك – البروكولى – عيش الغراب
١,٠	الخس الدهنى المجهز للمستهلك – شرائح التفاح المجهزة للمستهلك – الكرنب بروكسل – الكنتالوب – الخيار – خس الكابوتشا – أبصال البصل – المشمش – الزبدية – الموز – الكريز – العنب – الكيوى – النكتارين – اللتشى – الخوخ – البرقوق

تابع جدول (١٤-٤).

المستوى الذى يمكن تحمله (٪)	المنتج
١,٥	معظم أصناف التفاح والكمثرى
٢,٠	الجزر المجهز للمستهلك – الخرشوف – الكرنب – القنبيط – الكرفس – الفلفل الحلو والحار – الذرة السكرية – الطماطم – البلاكبرى – التين – المانجو – الزيتون – الباباظ – الأناناس – الرمان – الراسبرى – الفراولة
٢,٥	الكرنب المجهز للمستهلك – البلوبرى
٣,٠	الكنتالوب المجهز للمستهلك – أصناف التفاح والكمثرى قليلة النفاذية – الجريب فروت – الكاكى.
٤,٠	شرائح المشروم
٥,٠	الفاصوليا الخضراء – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – البرتقال
١٠	الأسبرجس
١٤	البرتقال المجهز للمستهلك

جدول (١٤-٥): تقسيم الخضر والفاكهة حسب تحملها لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (Watkins ٢٠٠٠).

أقصى مستوى يمكن تحمله[أ] (٪)	المنتج
٢	خس الكابوتشا – الكمثرى
٣	الخرشوف – الطماطم
٥	معظم أصناف التفاح – المشمش – القنبيط – الخيار – العنب – الزيتون – البرتقال – أصناف الخوخ ذات البذرة الملتصقة – البطاطس – الفلفل الحلو
٧	الموز – الفاصوليا الخضراء – الكيوى
٨	الباباظ
١٠	الأسبرجس – كرنب بروكسل – الكرنب – الكرفس – الجريب فروت – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – المانجو – النكتارين – الخوخ غير الملتصق البذرة – الكاكى – الأناناس – الذرة السكرية
١٥	الزبدية – البروكولى – البرقوق – الرمان

تابع جدول (١٤-٥).

أقصى مستوى يمكن تحمله[أ] (٪)	المنتج
٢٠	الكنتالوب – عيش الغراب
٢٥	البلاكبرى – البلوبرى – التين – الراسبرى – الفراولة
٣٠	الشيريمويا cherimoya (*Annona cherimola*)

أ- تمثل تلك النسب الحد الأقصى لتركيز ثاني أكسيد الكربون الذي يمكن لهذه المنتجات تحمله عند التخزين لأطول فترة ممكنة؛ بما يعني إمكان تحمل المنتجات لتركيزات أعلى من ذلك عند الرغبة في التخزين لفترات أقل.

استجابة المنتجات البستانية لعبوات الجو المعدل

تتأثر المنتجات بالـ MAP من عدة وجوه، كما يلي:

١- يؤدى الجو المعدل الذى تنخفض فيه نسبة الأكسجين وتزداد فيه نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى إبطاء تحلل الكلوروفيل أثناء شيخوخة الخضر الخضراء اللون، علمًا بأن فقد الكوروفيل يعد أمرًا مرغوبًا فيه فى عديد من الثمار الكلايمكتيرية.

٢- تؤدى مستويات ثانى أكسيد الكربون الأعلى عن ١٠٪ إلى إبطاء أو وقف نشاط معظم الكائنات المرضة، هذا بينما لا يكون للمستويات المنخفضة من الأكسجين – الأعلى من تلك التى تحدث عندها التخمرات – تأثيرات تذكر على الكائنات المرضة. ومن أكثر المنتجات البستانية تحملاً للمستويات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون التى يثبط معها النمو الميكروبى الفراولة والبلوبرى، والراسبرى، والبلاكبرى، والكريز.

٣- تؤدى الرطوبة النسبية العالية داخل الـ MAP إلى زيادة نشاط الكائنات المرضة.

٤- يؤدى انخفاض تركيز الأكسجين إلى تقليل تلون الأسطح المقطوعة فى الخضر والفاكهة المصنعة جزئيًّا (fresh-cut) باللون البنى، كما فى الخس والسلطات المجهزة. يحدث ذلك التأثير – فى الخس على سبيل المثال – عند انخفاض تركيز الأكسجين عن

٢٪، لكن مع بقائه أعلى من التركيز الذى يحدث عنده التخمر وهو حوالى ٠.٥٪ (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

٥- تحدث التخمرات عند انخفاض مستوى الأكسجين فى الـ MAP عند حدود معينة تختلف باختلاف المحصول، وإذا ما حدث التخمر فإنه تتكون مركبات مثل: الإيثانول، والأسيتالدهيد، وخلات الإثيل، وحامض اللاكتيك تؤدى إلى ظهور مذاق غير مرغوب فيه، كما تحدث أضرارًا فيزيائية. كذلك تظهر المركبات المسئولة عن النكهة غير المرغوب فيها فى المستويات المنخفضة من الأكسجين مع المستويات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون، وذلك عند الحدود الموصىَ بها. وتظهر تلك الروائح غير المرغوب فيها لدى فتح الـ MAP (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

٦- تزداد فترة صلاحية المنتجات المعبأة فى عبوات الجو المعدل للتخزين (جدول ١٤-٦)، وذلك هو الهدف الرئيسى من استعمالها.

جدول (١٤-٦): فترة صلاحية المنتجات البستانية للتخزين فى عبوات الجو المعدل (عن **Smith** وآخرين ، و **Jobling** ٢٠٠٧أ).

المنتج	نوع غشاء العبوة	نسب الغازات (٪)		فترة الصلاحية
		الأكسجين	ثانى أكسيد الكربون	للتخزين (يوم)
التفاح والكمثرى	أكياس PE ملحومة	١٠-١٥	٠,٥-٢.٥	١٨٠
التفاح	أنابيب من أغشية PE ملحومة	٢-٥	٥-٧	١٢٠
البلوبرى	تغطية البالتات بالـ PE	١-٢	٣-٥	٤٢
الزبدية	أكياس PE ملحومة	٣-٥	٧-٩	٨-١٠
الكيوى	أكياس PE ملحومة	غير معلومة	٣-٤	١٨٠
الموز	أغشية PV مغلفة	٣	٣	١٥
الكرنب	أغشية PV مغلفة	٢-٣	٣-٤	١٤-٢١
الكرنب بروكسل	أغشية PVC مغلفة	٢-٣	٣-٤	١٤-٢١
الخس	أكياس PE ملحومة	٥	١٠	١٢
الفاصوليا	أغشية سلوفان	٠,٥	حوالى ٣٠	٧
الخرشوف	أكياس PE	٣-٤	٣-٦	٥٦

تابع جدول (١٤-٦).

المنتج	نوع غشاء العبوة	نسب الغازات (٪) الأكسجين	ثانى أكسيد الكربون	فترة الصلاحية للتخزين (يوم)
البروكولى	أكياس PE + ٤،٥٪ EVA	١-٢	٨	٢١
الكرفس	أكياس PE	٥	٩	٣٥
الجزر	أكياس PE	١٧	٣	٤٥٠
عيش الغراب	أغشية PCV مغلفة	٢	١٠-١٢	٥
سلاطة خضراء	أغشية PCV مغلفة	٢	١٠	٦-٧
الفلفل	—	٢-٥	٢-٥	٢٨
الفراولة	—	٥-١٠	١٥-٢٠	٢١

وسائل أخرى لتوفير الجو المعدل للمنتجات

إن من بين الوسائل الأخرى التى اتبعت لتوفير الجو المعدل للمنتجات البستانية — غير التعبئة فى عبوات الهواء المعدل — ما يلى:

١- التخزين فى حجرات خاصة صغيرة داخل المخازن المبردة:

لتخزين كميات صغيرة من المنتج لفترات قصيرة فى جو خاص داخل غرف التبريد التى تحتوى على عدة منتجات، يمكن عمل خيمة خاصة من الستائر التى يضم طرفيها (جانبيها) باستعمال سوستة يحكم إغلاقها، ويغمر طرفها السفلى فى ماء يوضع فى قناة تحيط بالمكان من ثلاثة أضلاع، أما الضلع الرابع فيكون جدار المخزن. ويمكن تصميم المكان بحيث يوضع بداخله بالتتين أو ثلاثة بالتات فوق بعضها البعض (Leyte & Ferney 1999).

٢- التخزين فى الجو المتحكم فيه المتغير dynamic controlled atmosphere (اختصارًا: DCA):

تبعًا لهذه التقنية فإن الاستجابات الأيضية المرتبطة بالشدّ الناتج عن تعرض المنتج الطازج لمستويات من الأكسجين أقل مما يمكنه تحملها يتم التعرف عليها. ويلى ذلك تعديل هواء المخزن للتخلص من حالة الشدّ تلك. وبهذه التقنية يمكن المحافظة على

أفضل عما فى حالة التخزين فى الجو الأكثر أمانًا. تعتمد تلك التقنية على قياس فلورة الكلوروفيل chlorophyll flurescence، وتتوفر تجاريًا تحت اسم HarvestWatch (Watkins ٢٠٠٨).

٣- تغليف بالتات كاملة بأغشية البوليثيلين:

يتم توفير جو معدل داخل بالتات كاملة بإحاطتها بغشاء من البوليثيلين، ثم عمل تفريغ جزئى للهواء داخل البالتة، وإدخال الهواء بالمخلوط المطلوب قبل اللحام التام للغشاء، وإحكام غلقه حول البالتة. تتبع تلك الطريقة فى شحن الفراولة، وهى تفيد فى الشحن المختلط للمنتجات. ومن أهم مخاطرها تمزق الغشاء حول البالتة، أو عدم لحامه جيدًا منذ البداية.

٤- تشميع المنتجات:

توفر الشموع وغيرها من المغلفات السطحية حاجزًا صناعيًا أمام نفاذ الغازات من المنتج وإليه؛ الأمر الذى قد يترتب عليه انخفاض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل المنتج ذاته. وتعد الأغشية البوليمرية أكثر فاعلية عن الشموع فى خفض الفقد الرطوبى دون التسبب فى تغيرات غير مرغوب فيها فى تركيزات كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين (Kader وآخرون ١٩٨٩).

الفصل الخامس عشر

تداول وفسيولوجيا وتخزين الحاصلات البستانية الطازجة المجهزة للمستهلك (المصنعة جزئيًّا)

بمجرد موت الخلايا المكونة لأنسجة المنتجات البستانية بسبب العمليات التصنيعية – مثل التعليب، أو التجميد، أو التجفيف، أو التجفيد – فإن دراستها تنتقل – تلقائيًّا – إلى المهتمين بعلوم الصناعات الغذائية والتغذية. ولكن عندما تدخل المنتجات – بعد حصادها – فى عمليات تصنيعية بسيطة لا تموت بسببها الخلايا المكونة لأنسجتها، فإنها تظل ضمن اهتمامات دارسى البساتين. فمثل هذه المنتجات تكون أكثر عرضة للتدهور، وتستمر فيها التحولات الحيوية بمعدلات أعلى من نظيرتها من المنتجات غير المصنعة جزئيًّا؛ الأمر الذى يجعلها أكثر احتياجًا إلى الحرص الشديد فى عمليات تداولها وتخزينها.

والمنتجات المصنعة جزئيًّا partially processed produce، هى تلك التى تجرى لها عمليات تصنيعية معينة لا تؤدى إلى موت خلاياها (حيث تبقى فى حالة طازجة)؛ وذلك بهدف توفير وقت المستهلك؛ فلا يبذل وقتًا أو جهدًا فى عمليات التقطيع إلى أجزاء cutting أو إلى شرائح slicing، أو البشر shredding، أو التقشير peeling، أو إزالة الأجزاء غير المرغوب فيها trimming، أو إزالة القلب (التقوير) coring ... إلخ.

وتعرف هذه المنتجات بمسميات أخرى؛ منها: المصنّعة قليلا lightly processed، و minimally processed، والمصنّعة الطازجة fresh processed، والسابقة التقطيع pre-cut، والسابقة الإعداد preprepared، والمعدة بالتقطيع cut prepared، والمقطعة الطازجة fresh-cut.

مقدمة

ازداد الإقبال على استهلاك الخضر والفاكهة المجهزة للمستهلك عامًا بعد آخر فى

الدول الصناعية المتقدمة، حيث وصل إجمالى المبيعات منها – فى الولايات المتحدة وحدها – ما مقداره ١٢ بليون دولار فى عام ٢٠٠٦. وتمثل السلطات ومخاليطها السابقة التجهيز حوالى ٥٣٪ من إجمالى تلك الصناعة (عن Hurst ٢٠٠٧). ومن المؤكد أنها ستجد – فى غضون سنوات قليلة – إقبالاً مماثلاً فى المناطق الحضرية من الدول العربية.

ومن أهم منتجات الخضر التى تصنع جزئيًّا، ما يلى (عن Schlimme ١٩٩٥):

المحصول	المنتجات
البنجر	مقشرة، ومبشورة، ومقطعة إلى أجزاء، ومقطعة إلى شرائح
البروكولى	نورات صغيرة فردية بحاملها أو بدون حامل
الجزر	شرائح مقشرة، وعيدان مقشرة، ومقطعة إلى أجزاء صغيرة، ومبشورة، وجزر "بيبى"
الكرفس	أعناق أوراق كاملة، ومقطعة إلى أجزاء صغيرة أو إلى شرائح.
الخيار	شرائح ملساء أو متعرجة
الخس	منظفة ومُزال منها الساق الداخلية، ومقطعة إلى قصاصات طويلة chopped.
البصل	مقطعة إلى شرائح، أو حلقات، أو إلى أجزاء صغيرة.
السبانخ	منظفة ومُزال منها الأجزاء الزائدة من الأوراق المفردة.
الطماطم	مقطعة إلى شرائح، أو إلى أجزاء صغيرة.
خضر مخلوطة للسلاطة	مجموعة كبيرة من الخضر المقطعة مسبقًا.

يتطلب تجهيز تلك المنتجات، وتداولها الإلمام بعلمى تكنولوجيا الأغذية وفسيولوجيا ما بعد الحصاد.

كما يتطلب الأمر تطبيق الممارسات الزراعية الجيدة (الجاب GAP)، والممارسات التصنيعية الجيدة (الـ GMP)، والهاسب (HACCP) خلال كل مراحل الإنتاج

والتصنيع. مع التحكم الحرارى المناسب لتأمين انخفاض أعداد الميكروبات بالمنتج المجهز منذ البداية ولحين وصوله إلى المستهلك. هذا مع العلم بأن وسائل التنظيف والتطهير المتبعة مع المنتجات غير المجهزة لا تجدى مع المنتجات المجهزة إذا ما حدث فيها تلوث بميكروبات ممرضة.

يلاحظ أن الخضر والفاكهة المجهزة جزئيًّا تكون مكتملة النضج، بما يعنى أنها تكون أكثر تحملاً للحرارة المنخفضة وأقل حساسية لأضرار البرودة عن غيرها الأقل نضجًا، كما أنها تُستهلك — عادة — سريعًا بما يسمح ببقائها فى تلك الحرارة المنخفضة دون أن تظهر عليها أضرار البرودة قبل استعمالها. فضلاً عن أن الحرارة المنخفضة تقلل من فرصة زيادة النمو الميكروبى بها.

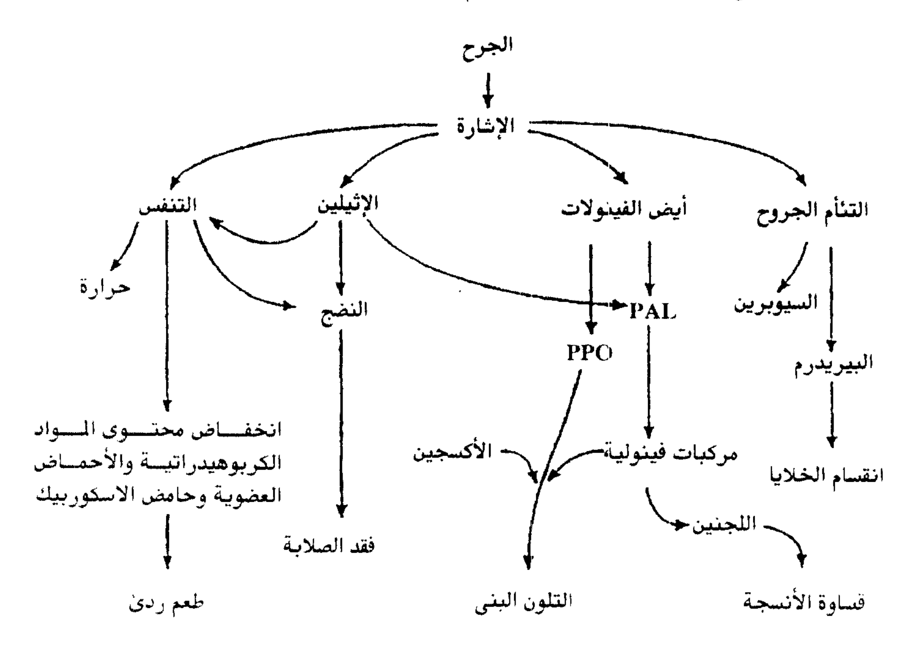
ويفضل – دائمًا — استعمال أفضل نوعية من منتجات الخضر والفاكهة لأجل تجهيزها للمستهلك. وعلى الرغم من أنه يمكن النزول بالنوعية إلى درجة أقل مع استبعاد الأجزاء غير المرغوب فيها عند التجهيز، إلا أن ذلك يزيد من تكلفة التجهيز إلى درجة غير اقتصادية، فضلاً عن احتمال عدم ملاحظة القائمين بالعمل لبعض الأجزاء التى يتعين التخلص منها، مع ما يستتبع ذلك من انخفاض فى النوعية (Barth وآخرون — الإنترنت — ٢٠٠٧).

فسيولوجيا المنتجات المصنّعة جزئيًّا

دور التجريح بصورة عامة

إن عملية تجهيز الخضر الطازجة للاستهلاك المباشر fresh-cut تتضمن أضرارًا ميكانيكية كثيرة جدًّا جراء التقشير، والتقطيع إلى شرائح، والتقطيع إلى مكعبات صغيرة dicing، والتمزيق أو البشر shredding، والفرم chopping. وبذا .. فإن فسيولوجيا الخضر والفاكهة السابقة التجهيز هى بالضرورة فسيولوجيا الأنسجة المجروحة. ومن أهم ما يترتب على ذلك التجريح زيادة معدل التنفس وإنتاج الإثيلين وتهتك الأغشية الخلوية، بما يترتب عليه من تعطيل لعمل الخلايا واختلاط الإنزيمات بالمواد الأولية دونما فصل بينها

(decompartmentalization)، وتراكم مركبات الأيض الثانوية (شكل ١٥-١). ويكون ذلك مصاحبًا بتغيرات فى صفات الجودة مثل القوام، واللون، والمذاق، والقيمة الغذائية.



شكل (١٥-١): العلاقات المتداخلة بين التأثيرات التى يحدثها تجريح الأنسجة على العمليات الفسيولوجية فى الخضر والفاكهة الطازجة المجهزة للمستهلك (عن **Saltveit** ٢٠٠٣).

ونوجز – فيما يلى – أبرز التأثيرات الفسيولوجية التى تترتب على تجهيز المنتجات الطازجة للمستهلك:

١- زيادة إنتاج الإثيلين:

يحدث ذلك من خلال التأثيرات فى مسار الـ ACC، وربما – أيضًا – مسار التجريح wound pathway (الذى يتضمن الـ ethane).

٢- زيادة معدل التنفس:

يترتب على ذلك إنتاج ثانى أكسيد الكربون، واستهلاك الأكسجين، وإنتاج الطاقة، واحتمالات التنفس اللاهوائى.

٣- تفاعلات الأكسدة:

وهى التى تتضمن استهلاك الأكسجين – فى غير التنفس – والتلون البنى.

٤- حث إنتاج الإنزيمات:

والتى منها: ACC synthase، و ACC oxidase، و PAL، و PIIF ... إلخ.

٥- تحورات فى أيض الفينولات:

الأمر الذى يترتب عليه إنتاج الفيتوألاكسينات phytoalexins، والصبغات البنية.

٦- حث عملية التئام الجروح:

وهى العملية التى تتضمن تمثيل اللجنين والسيوبرين، وانقسام الخلايا.

٧- تحورات فى تمثيل البروتين.

٨- تغيرات كيميائية وتركيبية:

وتتضمن حامض الأسكوربيك، والأحماض العضوية، والمواد الكربوهيدراتية، ونسبة السكريات إلى الأحماض، وزيادة فى الصلابة toughening وفى الطراوة softening، وفقدان لخصائص الطعم.

أما أبرز التأثيرات الفسيولوجية التى تحدث فى الحال استجابة للتجريح، فهى كما يلى:

١- إعطاء إشارة التجريح wound signal:

وهى التى يترتب عليها:

أ- تمثيل منظمات النمو النباتية، مثل حامض الأبسيسك، والإثيلين، وحامض الجاسمونك، وحامض السلسيلك، والـ systemin، والـ traumatin ... إلخ.

ب- توليد موجه كهربائية بيولوجية.

٢- الإضرار بالأغشية الخلوية فسولوجيًا وفيزيائيًا:

يتسبب ذلك فى زيادة نفاذيتها، واختلاط مكونات الخلية ومحتويات الفجوات، وأكسدة الدهون، وإنتاج أحماض دهنية حرة.

٣- فقد خاصية تدفق البروتوبلازم protoplasmic streaming.

وأما أبرز التأثيرات الفيزيائية التى تترتب على التجريح، فهى كما يلى:

١- حدوث صدمة ميكانيكية للأنسجة:

تحدث الصدمة بسبب الجروح والخدوش والتشققات والكسور والتمزقات.

٢- زوال طبقة البشرة الحامية:

يؤثر ذلك فى انتشار الغازات (الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين) وبخار الماء، كما يوفر مدخلاً للملوثات من المركبات الكيميائية والكائنات الدقيقة.

٣- ظهور سوائل على الأسطح المقطوعة:

هذه السوائل تقلل من تبادل الغازات، ويترتب على ذلك زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون والإثيلين فى الأنسجة، ونقص تركيز الأكسجين، كما يُسرع ذلك من فقد الماء. ويوفر مادة أولية لتكاثر الميكروبات.

٤- ظهور سوائل فى داخل الأنسجة:

الأمر الذى يؤدى – عند تواجد السوائل فى المسافات بين الخلايا – إلى شفافية الأنسجة، ويغير من كثافة المنتج.

٥- زوال الحواجز الطبيعية:

الأمر الذى يترتب عليه تحفيز انتشار الغازات سواء أكانت تلك الخارجة من النسيج أو الداخلة فيه، مع زيادة فقد الماء، وسهولة التلوث.

٦- تغيرات مظهرية:

ومن أبرز تلك التغيرات:

أ- تكوين مسحة بيضاء على الأسطح المقطوعة بسبب المتبقيات السطحية.

ب- عدم انتظام السطح بسبب عدم انتظام فقد الماء من الأنسجة.

جـ- حدوث تفلقات وتمزقات بسبب حدوث تغيرات متباينة فى امتلاء خلايا الأنسجة.

د- تسرب الماء فى المسافات بين الخلايا، مما يجعل الأنسجة تبدو نصف شفافة (Saltveit ٢٠٠٣).

التغيرات الحيوية فى المنتجات المصنّعة جزئياً

نلقى – فيما يلى – مزيدًا من الضوء على التغيرات الحيوية التى تحدث فى أنسجة الخضر والفاكهة الطازجة المجهزة للمستهلك.

١– زيادة معدل إنتاج الإثيلين:

يؤدى جرح الأنسجة النباتية إلى زيادة معدلات إنتاج الإثيلين خلال دقائق معدودة حتى ساعة واحدة، مع وصول إنتاج الإثيلين إلى أقصى معدلاته فى خلال ٦–١٢ ساعة. ويعمل الإثيلين المنتج على إسراع نضج الثمار الكلايمكتيرية، وفقد الكوروفيل فى السبانخ.

٢– تدهور الأغشية الخلوية:

تتدهور الأغشية الخلوية نتيجة لتدهور محتواها من الدهون؛ حيث يحدث بها نشاط إنزيمى كبير؛ يؤدى إلى فقد المكون الدهنى للأغشية، وفقد خاصية الـ compartmentation (تواجد المركبات فى حجيرات خاصة من الأغشية الخلوية) بالنسبة للإنزيمات والمواد الأولية التى تعمل عليها الإنزيمات.

٣– زيادة معدل التنفس:

يعتقد أن الزيادة التى تحدث فى معدل التنفس فى الحاصلات البستانية المصنّعة جزئيًّا تكون بسبب زيادة إنتاجها من الإثيلين. وقد تسرع الجروح – كذلك – من وصول الثمار إلى حالة الكلايمكترك التنفسى.

ونوضح فى جدول (١٥–١) معدل تنفس بعض الخضر والفاكهة المجهزة للمستهلك.

إن الزيادة فى التنفس وإنتاج الإثيلين التى يسببها التجريح يمكن أن تستنفذ مخزون المواد الكربوهيدرات وتحفز طراوة الأنسجة؛ الأمر الذى يرتبط بالنضج، وكذلك فقد الكلوروفيل المرتبط بشيخوخة الأوراق أو الأنسجة كما فى السبانخ والبروكولى. وفى كثير من الأنسجة يعطى التجريح إشارة تستحث تمثيل وتراكم المواد الفينولية. وقد يحدث التلون البنى نتيجة لتأكسد أو بلمرة المواد الفينولية المتراكمة. كذلك فإن اللجننة وصلابة الأنسجة تعد مظاهر أخرى لفقد الجودة التى يسببها أيض الفينولات.

جدول (١٥–١): معدل تنفس بعض الخضر والفاكهة المجهزة للمستهلك على صفر–٢٥°م، و١٠°م (Toivonen & DeEll ٢٠٠٢).

المنتج	طريقة الإعداد	معدل التنفس ($mg\ CO_2\ kg^{-1}hr^{-1}$) على (°م)	
		صفر–٢,٥	١٠
الفاصوليا الخضراء	مقطعة	٧,١	٣٩.٧
كوسة زوكينى	شرائح	٦,١	٢٣.٩
خيار	شرائح	١,٧	٤,٩
كوسة صفراء	شرائح	٣,٣	٩,٠
فلفل حلو	شرائح	٣.٦	٧.١
طماطم	شرائح	٠,٧	٥,١
كيوى	شرائح	٣,٧	١١,٩
موز (بدون قشرة)	شرائح	٤.٠	١٠.٧
فراولة	شرائح	١١.٢–٨.٥	––
خوخ	شرائح	٣,١	٩.٥
كنتالوب	مكعبات	١,٩	٦.٢
شهد العسل	مكعبات	١.٢	٤.٢
كمثرى (Anjou)	شرائح	٣.٨–١.٧	٧.٥–٦.٤
كمثرى (Bartlett)	شرائح	٤.٩–٢,٨	١١.٨–٩.٩
بطاطس	مقشرة	٣.٠	٩.٠
	شرائح	٦,٠	٢٠.٠
بنجر	مقشر	٢.٠	١٠.٠
	مكعبات	٥.٠	١٤.٠
	مبشور	٦.٠	٢٠.٠
جزر	مقشر	٤.٠	١١.٠
	شرائح	٦.٠	١٨.٠–١٥.٠
	مبشور	٨,٠	٢٧.٠
بصل	مقشر	٤.٠	١١.٠
	حلقات	٧.٠	٢٠.٠
	مبشور	٦.٠	١٢.٠

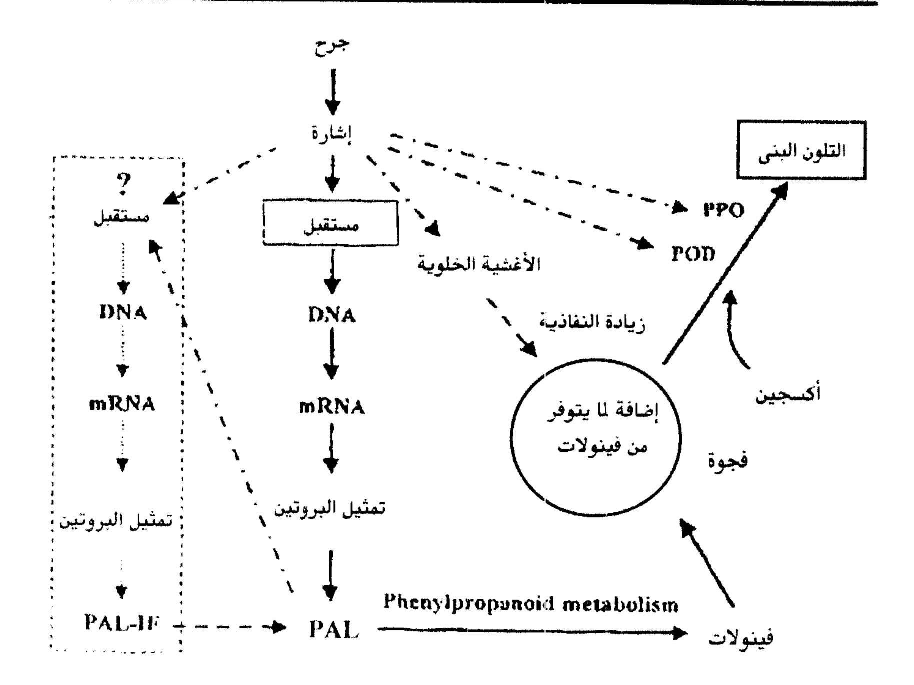
تابع جدول (١٥-١).

المنتج	طريقة الإعداد	معدل التنفس ($mg\ CO_2\ kg^{-1}hr^{-1}$) على (م) صفر-٢,٥	١٠
البروكولى	زهيرات	١٢.٩	٤١.٢
كرنب صينى	مقطع نصفان	٥.٠	٩.٠
	ممزق لقطع كبيرة	٩.٠	٢٥.٠
	ممزق لقطع صغيرة	١٢.٠	٣٠.٠
كرنب	مقطع إلى ٤ أرباع	٤.٠	١٢.٠
	ممزق لقطع كبيرة	٩.٠	٢٥.٠
	ممزق لقطع صغيرة	١٢.٠	٣٠.٠
تفاح (ديلشص)	شرائح	٢,٤-٣.٥	—
خس كابوتشا	ممزق	٣.٩	٦,٤

٤- التلون البنى بالأكسدة Oxidative Browning والتلون البنى الإنزيمى Enzymic Browning:

تحدث تغيرات فى اللون على سطح الأنسجة المقطوعة نتيجة لقطع الخلايا ذاتها وخروج محتوياتها وتعرضها للأكسدة. كما تحفز الجروح تمثيل بعض الإنزيمات التى تدخل فى تفاعلات التلون البنى. وفى تمثيل المواد الأولية التى تلزم لتلك التفاعلات. وتجدر الإشارة إلى أن التفاعلات التى تحدث للمركبات التى تخرج من الخلايا المجروحة تضر كثيرًا بطبقات الخلايا التالية لها؛ لذا .. يجب الاهتمام بعملية الشطف فى الماء للتخلص من تلك المركبات.

يعد التجريح أحد عوامل الشدِّ غير الأحيائى التى ينتج عنها إشارات تبدأ فى النسيج المضار لتنتقل منه إلى النسيج غير المضار المجاور له؛ لتستحث تمثيل بروتينات خاصة لم تكن موجودة تعرف باسم "البروتينات المستحث إنتاجها بواسطة الجروح" wound-induced proteins. وتعد بعض تلك البروتينات المستحثة إنزيمات خاصة بأيض الفينولات (شكل ١٥-٢).



شكل (١٥-٢): العلاقات المتداخلة بين تجريح أنسجة ورق الخس وما يعقبه من تغـيرات فى أيض الفينولات الذى يقود إلى التلون البنى (Saltveit ٢٠٠٠).

إن التفاعلات الإنزيمية وغير الإنزيمية التى تتضمن المركبات الفينولية تنتج صبغات بنية اللون فى الأنسجة النباتية. وتحتوى بعض الأنسجة – كما فى الخرشوف – على محتوى عال من مركبات فينولية سابقة التكوين، سريعًا ما تتحول إلى اللون البنى فى الهواء بعد تعرضها للتجريح. ويتطلب منع التلون البنى فى تلك الأنسجة وقف نشاط الإنزيمات المسئولة عن ذلك، مثل البولى فينول أوكسيديز، أو حجب الأكسجين (بخفضه إلى أقل من ١٪)، أو المعاملة بمركبات مضادة للأكسدة مثل حامض الأسكوربك. وفى أنسجة كالخس تكون كميات المركبات الفينولية السابقة التكوين فى الأنسجة قليلة، ويحدث التلون البنى بعد زيادة تمثيل تلك المركبات عقب تجريح الأنسجة. فهذا التجريح (الذى يحدث عند تقطيع الخس أو تشققه أو كسر عروقه) ينتج إشارة تنتقل عبر الأنسجة، وتستحث تمثيل إنزيمات فى المسار الأيضى المسئول عن

إنتاج المركبات الفينولية، وأول الإنزيمات التى يتم تمثيلها حينئذٍ هو: phenylalanine ammonia lyase (اختصارًا: PAL)، وهو الذى يؤدى إلى تراكم المركبات الفينولية، مثل حامض الكلوروجنك chlorogenic acid، وحامض الأيزوكلورجنك isochlorogenic acid، و dicaffeoyl tartaric acid، وجميعها مركبات مسئولة عن التلون البنى فى الخس (Saltveit ١٩٩٨).

ويؤدى تجريح خس الآيس برج – على سبيل المثال – إلى زيادة نشاط الـ PAL بنحو ٦-١٢ مرة على مدى ٢٤ ساعة على ١٠°م؛ مما يؤدى إلى زيادة محتوى المركبات الفينولية الكلية ثلاث مرات فى خلال ثلاثة أيام (Saltviet ٢٠٠٠).

يعد التلون الإنزيمى أحد أهم العوامل المحددة لفترة بقاء الخضر والفاكهة الطازجة السابقة التجهيز محتفظة بجودتها. وما يحدث هو أنه أثناء مراحل تجهيز المنتجات الطازجة يتعرض المنتج لعمليات تؤدى إلى تمزق الخلايا؛ مما يؤدى إلى تحرر الإنزيمات من الأنسجة؛ لتصبح على اتصال بالمواد التى تعمل عليها. والتلون البنى الإنزيمى هو ذلك الذى ينتج عن نشاط مجموعة من الإنزيمات تعرف باسم polyphenol oxidases(اختصارًا: PPOs)، وهى التى تتواجد فى جميع النباتات. ويجب تمييز التلون البنى الإنزيمى عن التلون البنى غير الإنزيمى الذى ينتج بعد التسخين، مثل: تفاعل ميلارد Maillard reaction، والتكرمل، وأكسدة حامض الأسكوربيك.

ويعد التلون البنى الإنزيمى عملية معقدة تتم على مرحلتين. ينظم المرحلة الأولى منها الـ PPOs، حيث تتحول الـ monophenols إلى o-diphenols بالـ hydroxylation. أما المرحلة الثانية فتنظمها كذلك الـ PPOs. وفيها يتحول الـ o-diphenol إلى o-qionones بالأكسدة (شكل ١٥-٣).

ومن خلال مجموعة من التفاعلات الإنزيمية تتفاعل الـ o-quinones بالأكسدة والبلمرة (مع جزيئات quinones أخرى، ومع مركبات فينولية أخرى، ومع مجموعات الأمينو فى البروتينات والببتيدات والأحماض الأمينية. ومع الأمينات الأروماتية، ومركبات الثيول

thiol compounds، وحامض الأسكوربيك ... إلخ)؛ لتكون صبغات بنية وكذلك مركبات بنية ضاربة إلى الحمرة، ورمادية ضاربة إلى الزرقة، وسوداء، وترجع تلك الاختلافات اللونية إلى تباين أنواع المركبات الفينولية التى تدخل فى التفاعل.

(1) monophenol (OH, R) + AH_2 —($+ O_2$, PPO)→ o-diphenol (OH, OH, R) + A + H_2O

(2) o-diphenol (OH, OH, R) —($+ \frac{1}{2} O_2$, PPO)→ o-quinone (O, O, R) + H_2O

شكل (١٥-٣): التفاعلات التى يمكن أن ينظمها الـ **polyphenol oxidase**: ١- تحويل الـ **monophenols** إلى **o-diphenols** بالـ **hydroxylation**، و٢- أكسدة الـ o-diphenols إلى **o-quinones** (**Garcia & Barrett** ٢٠٠٢).

ولا يقتصر التلون البنى الإنزيمى على التغيرات اللونية فقط، وإنما يتعداها – كذلك – إلى تغيرات غير مقبولة فى الطعم وفقد فى القيمة الغذائية (Garcia & Barrett ٢٠٠٢).

٥- التئام الجروح:

يُعنى بمصطلح التئام الجروح – بصفة عامة – إنتاج السيوبرين واللجنين ثم ترسيبهما فى الجدر الخلوية فى مواقع الجروح، مع احتمال أن يتبع ذلك انقسام خلوى تحت الطبقة المسوبرة لتكوين بيريدرم الجروح. وأول ما يلاحظ عند السطح المقطوع للأنسجة النباتية جفاف الطبقة الأولى المقطوعة من الخلايا والطبقات القليلة الأولى التى تليها. وتحدث السوبرة فى طبقة الخلايا التى تلى ذلك فى عديد من الأنسجة، مثل درنات البطاطس واليام، وجذور البطاطا والجزر، وقرون الفاصوليا، والغلاف الثمرى الخارجى pericarp للطماطم والخيار.

ويتأثر التسوبر وتكوين بيريدوم الجروح بكل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية، وتركيز غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون؛ حيث يزداد معدل التئام الجروح — بالنسبة للبطاطس مثلاً — بارتفاع درجة الحرارة من ٥ إلى ٢٠ °م، وبزيادة الرطوبة النسبية حتى ٩٨٪ (فى الحرارة المنخفضة)، بينما يتوقف التئام الجروح فيها بانخفاض تركيز الأكسجين عن ١٠٪، أو بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون على ٥٪ (Barth ١٩٩٥).

إن بعض التغيرات الفسيولوجية الموجهة نحو التئام الجروح قد تكون مفيدة كما يحدث عند معالجة درنات البطاطس، وقد تكون ضارة. فمن بين التغيرات الفسيولوجية التى تعقب التجريح: زيادة معدل التنفس وإنتاج الإثيلين، وتحفيز نضج ثمار الخضر الكلايمكتيرية (مثل الكنتالوب والطماطم)، وزيادة تمثيل وتراكم المركبات الفينولية التى تُسهم فى التلون البنى للأنسجة. ويتم التحكم فى تلك التغيرات بحفظ المنتج فى حرارة منخفضة، وبتوفير هواء محيط بالمنتج يقل فيه تركيز الأكسجين ويزداد تركيز ثانى أكسيد الكربون. والمعاملة بمثبطات لتفاعلات كيميائية أو مسارات أيضية معينة.

٦- تمثيل مركبات أيضية ثانوية Secondary Metabolites:

يؤدى جرح الأنسجة النباتية إلى تحفيز إنتاج عدد كبير من المركبات الثانوية التى قد تدخل بعد ذلك فى العمليات المؤدية إلى التئام الجروح، أو تعمل كوسيلة دفاعية ضد الإصابات الميكروبية والحشرية. وتختلف المركبات التى تتكون نتيجة للجروح من محصول لآخر. وقد يؤثر تكوينها على نكهة طعم المنتج، ومظهره، وقيمته الغذائية، وحتى على مدى صلاحيته للاستهلاك، لأن تلك المركبات قد تكون ضارة بصحة الإنسان (عن Brecht ١٩٩٥).

ونعطى فى جدول (١٥-٢) أمثلة لبعض مركبات الأيض الثانوية التى يتم تمثيلها استجابة للتجريح فى بعض محاصيل الخضر.

جدول (١٥-٢): أمثلة لبعض مركبات الأيض الثانوية التى يتم تمثيلها استجابة للتجريح فى بعض محاصيل الخضر (Miller ٢٠٠٣)

المركب	فئة المركب	النبات	العضو النباتى
Catechin	Flavonoid	الخس	الأوراق
Chlorogenic acid	Phenylpropanoid		
Dicaffeoylquinic acid	Phenylpropanoid		
Miscellaneous	Terpenoid	الكاسافا	الجذر
Diterpenes			
Catechin	Flavonoid	الكاسافا	الجذر
Scopoletin	Coumarin	الكاسافا	الجذر
Scopolin		الكاسافا	
Esculin			
Rishitin	Sesquiterpenoid	البطاطس	الدرنة
Lubimin			
Phytuberin			
Phytuberol			
Solavetivone			
Solanine	Steroidal alkaloid	البطاطس	الدرنة
Chaconine			
Allylisothiocyanate	Glucosinolate	الكيل والكولارد	الأوراق
Cucurbitacin	Terpenoid	القرعيات	الأوراق
3-Carene	Terpenoid	الجزر	الجذر
Caryophyllene			
α-Caryophyllene			
β-Pinene			
Carotenoids	Terpenoid	الطماطم	الثمرة
Chlorogenic acid	Phenylpropanoid	البطاطس	الدرنة

إن الجروح التى تحدث بمنتجات الخضر والفاكهة عند إعدادها للمستهلك fresh-cut تحفز تغيرات فيزيائية وفسيولوجية عديدة تُسرع من فقد المنتج لجودته. ومن أهم

هذه الجروح تلك التى تؤدى إلى فقد طبقة البشرة وتعرض الأنسجة الداخلية للهواء الخارجى؛ فتلك التغيرات لا تُسهل فقط فقد الماء، ولكنها توفر وسيلة سهلة لدخول الميكروبات المسببة للأمراض والملوثات الكيميائية. ويمكن للتعبئة الجيدة وللمعاملة بالأغشية الصالحة للأكل أن تقلل من فقد الماء بمحافظتها على رطوبة نسبية عالية عند الأسطح المقطوعة، كما أنها توفر حاجزًا فيزيائيًا يحمى المنتج من التلوث.

يستمر فقد الأنسجة النباتية للماء ما انخفضت الرطوبة النسبية فى الجو المحيط بها عن ٩٩٪–٩٩,٥٪ (بفرض تساوى درجة حرارة الأنسجة مع حرارة الهواء المحيط بها)؛ وذلك هو المدى الرطوبى الطبيعى فى الهواء الذى يشغل المسافات البينية فى الأنسجة النباتية. ونجد فى الأنسجة غير المجروحة أن هواء المسافات البينية لا يكون على اتصال مباشر بالهواء الخارجى، ولكن تجريح الأنسجة يعرض الأنسجة الداخلية للهواء الخارجى بصورة مباشرة؛ الأمر الذى يُسرع كثيرًا من فقد الماء، ما لم تتم زيادة الرطوبة النسبية فى الجو المحيط بالمنتج إلى ٩٩,٥٪.

وتتراوح معدلات الزيادة فى فقد الرطوبة فى الأنسجة المجروحة – مقارنة بالأنسجة السليمة – بين ٥ أضعاف و ١٠ أضعاف فى الأسطح المسوبرة قليلاً مثل الجزر، و ١٠ أضعاف و ١٠٠ ضعف فى الأسطح المغطاة بالكيوتين مثل قرون الفاصوليا وثمار الخيار، إلى ٥٠٠ ضعف فى درنات البطاطس الشديدة التسوبر (عن Brecht ١٩٩٥).

يمكن لفقد الماء وانهيار الخلايا المجروحة عند السطح المقطوع أن يؤديا إلى تغير مظهر المنتج المجهز. فمع فقد السطح المقطوع للماء فإن البقايا الخلوية العالقة يمكن أن تكسب السطح مسحة بيضاء اللون تخفى لون الصنف. وعلى سبيل المثال فإن تلك المسحة البيضاء على الجزر "البيبى" تقلل من شدة المظهر البرتقالى للون للجزر. كذلك فإن الفقد غير المنتظم للرطوبة بين القشرة والأنسجة الوعائية المعرضة للجو الخارجى قد تؤدى إلى عدم تجانس السطح، كما يحدث عند بروز الخيوط الوعائية لليمترات قليلة من النهايات المقطوعة لأعناق أوراق الكرفس. وكل تلك التغيرات ترتبط فى ذهن المستهلك بفقد المنتج لطزاجته (Barth وآخرون – الإنترنت – ٢٠٠٧).

التلوث الميكروبى للمنتجات المصنّعة جزئيًا

إن المنتجات الطازجة المجهزة – التى تُزال منها القشرة الخارجية – تكون أكثر عرضة للتلوث بميكروبات التربة مثل *Erwinia*، و *Pseudomonas*، وهى التى تكون أكثر قدرة على منافسة مسببات أمراض الإنسان. ولكن مع استخدام العبوات المحورة كمكونات الهواء MAP، وبعدم الالتزام بخفض حرارة التخزين عن ٥°م، تزداد فرصة تكاثر بعض مسببات أمراض الإنسان، مثل *Clostridium*، و *Yersinia*، و *Listeria*، خاصة وأن توفر العصير الخلوى يشكل بيئة مناسبة لنمو تلك الكائنات الدقيقة.

يزداد بشدة الحمل الميكروبى فى منتجات الخضر والفاكهة الطازجة المجهزة للمستهلك (متضمنة بكتيريا الـ coliform، وبكتيريا حامض اللاكتيك، والخمائر والفطريات الأخرى)، ويصل العد الكلى للوحدات المكونة للمستعمرات إلى أكثر من لو٦ (أى أكثر من مليون وحدة) فى كل جرام واحد من المنتج المجهز، كما فى زهيرات البروكولى (٦.٥)، والكنتالوب (٦.١)، والجزر (٦.٠)، والكول سلو coleslaw (٧.٣–٧,٨)، والخس (٦,٤–٨.٠)، وعيش الغراب (٨.٣)، والسلطات الخضراء (حتى ٨.٩).

ويعطى جدول (١٥–٣) بيانًا بأنواع الكائنات الدقيقة التى أمكن التعرف عليها فى السلطات المجهزة للمستهلك (Heard ٢٠٠٢).

جدول (١٥–٣): أهم الكائنات الدقيقة التى وجدت ملوثة للسلطات المجهزة للمستهلك.

الميكروب	السلاطة
الـ Seudomonads	
Pseudomonas fluorescens	**Carrots, lettuce, mixed salad, chicory, potato salad, dryslaw, tabouli**
Pseudomonas fragi	**Potato salad, dryslaw, tabouli**
Pseudomonas putida	**Carrots, lettuce, mixed salad, alfalfa sprouts, potato salad, dryslaw, tabouli**
Pseudomonas marginalis	**Carrots, lettuce, mixed salad, chicory leaf, potato salad**
Pseudomonas cepacia	**Carrots, mixed salads, chicory**
Pseudomonas chicorii	**Chicory**
Pseudomonas fulva	**Chicory**

تابع جدول (١٥-٣).

السلاطة	الميكروب
Carrots, mixed salad, chicory	*Pseudomonas paucimobilis*
Carrots, mixed salad, chicory	*Methylobacterium mesophilica*
Carrots, lettuce, mixed salad	*Pseudomonas viridiflava*
Carrots, lettuce, mixed salad, potato salad, dryslaw	*Stenotophomonas maltophilia*
Prepared salad	*Pseudomonas chloroaphis*
Chicory sprouts, potato salad, dryslaw, tabouli	*Pseudomonas corrugate*
Tabouli	*Flavimonas oryzihabitans*
	بكتيريا أخرى:
Potato salad	*Agrobacterium radiobacter*
Tabouli	*Acinetobacter* spp.
Carrots, Lettuce, mixed salad	*Coryneform* bacteria
Carrots, lettuce, mixed salad	*Flavobacterium* sp.
Mixed salad, chicory leaf, salad leaves, prepared salad, dryslaw, tabouli	*Enterobacter agglomerans*
Tabouli	*Enterobacter amnigenus*
Dryslaw	*Enterobacter gervoiae*
Mixed salad	*Erwinia carotovora*
Chicory sprouts	Enterobacteriaceae**
Dryslaw	*Klebsiella terrigena*
Carrots, lettuce, mixed salad	*Lactobacillus* spp.
Carrots, lettuce, mixed salad, potato salad, dryslaw, tabouli	*Leuconostoc* spp.
Potato salad, dryslaw	*Rahnella aquatilis*
Tabouli	*Serratia marcescens*
Potato salad	*Yersinia intermediate*
	خمائر
Salad mix, mayonnaise-based salads*, carrots, chicory	*Candida* spp.
Lettuce	*Cryptococcus albidus*
Lettuce, carrots, mixed salad, chicory	*Ceyptococcus laurentii*
Salad mix, mayonnaise-based salads*	*Debaryomyces hansenii*
Lettuce, salad mix	*Pichia fermentans*
Mayonnaise-based salads*	*Pichia membranifaciens*

تابع جدول (١٥-٣).

الميكروب	السلاطة
Saccharomyces cerevisiae	Salad mix, mayonnaise-based salads*
Saccharomyces dairensis	Mayonnaise-based salads*
Saccharomyces exigus	Mayonnaise-based salads*
Torulaspora delbrueckii	Salad mix, mayonnaise-based salads*
Trichosporon cutaneum	Lettuce
Yarrowia lipolytica	Mayonnaise-based salads*
Zygosaccharomyces bailii	Mayonnaise-based salads*
فطريات أعفان	
Aspergillus niger	Lettuce, mayonnaise-based salads*
Botrytis allii	Lettuce
Penicillium chrysogenum	Mayonnaise-based salads*

* سلطات تحتوى على مايونيز.

** تتضمن عزلات الـ Entrobacteriaceae الأنواع البكتيرية التالية:
Rahnella aquatilis, Serratia odorifera, Escherichia vulneris, Klebsiella oxytoca, Enterobacter cloacae, Erwinia amlyovora, Enterobacter intermedius, Kluyvera cryocrescens, Serratia proteamans, Buttiauxella agrestis and *Enterobacter cloacae.*

العوامل المؤثرة فى سرعة التغيرات الحيوية

إن من أهم العوامل التى تؤثر فى سرعة التغيرات الحيوية فى الخضر المصنَّعة جزئيًا ما يلى:

١- النوع المحصولى والصنف التجارى:

تتباين الأنواع المحصولية والأصناف البستانية كثيرًا فى سرعة التغيرات الحيوية التى تحدث فيها؛ فمعدل إنتاج الإثيلين – مثلاً – قد يختلف بمقدار ١٠٠ ضعف بين مختلف المحاصيل، الأمر الذى لا يقتصر تأثيره على المنتج فقط، بل يتعداه إلى ما يكون مختلطًا معه كما فى مخاليط السلاطة.

٢- النضج الفسيولوجى للمنتج:

تتميز الخضر التى تحصد فى طور مبكر من نموها – مثل البامية، والبروكولى، والذرة السكرية – بنشاط أيضى عال عند الحصاد؛ وبذا .. فإنها تستهلك ما يكون فيها من

مخزون غذائى قليل بسرعة، ويظهر عليها التدهور فى وقت قصير. وبالمقارنة .. فإن محاصيل مثل البطاطس والقرع العسلى التى تحصد بعد اكتمال نضج أنسجتها تتميز بقدر أكبر من القدرة التخزينية؛ لأن نشاطها الأيضى يكون منخفضًا، كما أن محتواها من الغذاء المخزون يكون كبيرًا.

كما أن الثمار الكلايمكتيرية التى لا تكون قد وصلت إلى مرحلة النضج التام تنخفض فيها التحولات الغذائية عن تلك التى تكون قد اقتربت من مرحلة النضج التام.

٣- شدة الجروح:

تزداد شدة التحولات الأيضية – ومن ثم سرعة التدهور – بزيادة التجريح. ويقل التدهور عند استعمال شفرات حادة عند التقطيع، كما تتأثر سرعة التدهور باتجاه التقطيع؛ فمثلاً .. يكون التدهور أسرع فى شرائح الفلفل المقطعة طوليًّا عن تلك المقطعة عرضيًّا.

٤- درجة الحرارة:

تزداد شدة التحولات الأيضية بارتفاع درجة الحرارة خلال جميع مراحل التصنيع الجزئى، والنقل، والتسويق؛ لذا .. يفضل إجراء عملية التصنيع ذاتها فى أقل حرارة ممكنة (٥–١٠ °م)، مع شطف الخضر المصنّعة فى ماء تقترب حرارته من الصفر المئوى (٠,٥–١,٥ °م).

٥- الفرق فى ضغط بخار الماء بين النسيج خارجه:

كلما ازداد هذا الفرق ازداد الفقد الرطوبى من المنتَج. وأفضل وسيلة لمنع الفقد الرطوبى هى حفظ المنتَج فى رطوبة نسبية ٩٩٪–٩٩,٥٪ (عن Brecht ١٩٩٥).

وسائل تحسين جودة المنتجات المجهزة للمستهلك

إن من بين الوسائل التى تتبع لأجل تحسين جودة المنتجات المجهزة للمستهلك، ما يلى:

١- استعمال شفرات حادة فى التقطيع:

يعد استعمال شفرات قطع حادة أهم وسيلة للحد من التجريح عند تجهيز المنتجات الطازجة للمستهلك. فالشفرات الحادة تسبب جرحًا واحدًا فى طبقة الخلايا التى تمر بها، بينما تؤدى الشفرات غير الحادة إلى إزالة عدة طبقات من الخلايا عند القطع.

ويتضح ذلك من الأمثلة التالية:

أ- أدى استعمال نصل حاد فى تجهيز الخس إلى الحد من ظاهرة التلون البنى، وزيادة فترة بقائه بحالة جيدة بعد التجهيز، كما كان التقطيع إلى شرائح أفضل من التمزيق.

ب- كذلك أدى استعمال أنصال حادة فى تقطيع الجزر إلى شرائح إلى الحد من الزيادة فى العد الميكروبى، والتغيرات فى الطعم، والمحافظة على سلامة الخلايا (بالفحص المجهرى) وزيادة فترة الصلاحية للتخزين على ٨ °م (عن Portela & Cantwell ٢٠٠١).

جـ- فى الجزر البيبى المقشر أدى استعمال شفرات حادة إلى الحد من ظاهرة المسحة البيضاء white-blush التى تنتج من جفاف بقايا الخلايا الناتجة عن التجريح.

د- أمكن الحد من ظهور اللون نصف الشفاف (الشفافية translucency) فى الكنتالوب باستعمال شفرات حادة، علمًا بأن الظاهرة التى يزداد معها التسرب الأيونى، تقل معها الصلابة (Cantwell ١٩٩٨).

٢- تعريض المنتجات لعاملة حرارية:

يبدو أنه يوجد تسلسل معين لاستجابة النبات لمختلف حالات الشدّ غير الأحيائى. فنجد – مثلاً – أن النبات الذى يتعرض لكل من التجريح والشدّ الحرارى فى آن واحد يستجيب أولاً للشدّ الحرارى بإنتاج بروتينات الصدمة الحرارية بدلاً من إنتاج الإنزيم PAL. وتؤدى صدمة حرارية على ٤٥ °م لمدة ٩٠ ثانية إلى منع الزيادة فى نشاط PAL إذا ما حدث التعرض للصدمة الحرارية قبل التجريح بأربع ساعات، أو ساعتين بعده. وهذا التغير فى تمثيل بروتين التجريح بفعل التعرض للصدمة

الحرارية قد يمكن استخدامه فى منع التلون البنى فى المحاصيل التى يقل محتواها من المركبات الفينولية بصورة طبيعية مثل الخس والكرفس، مما قد يفيد فى التحكم فى ظاهرة التلون البنى فى الخضر والفاكهة الطازجة المجهزة للمستهلك (Saltveit ٢٠٠٠).

٣- الغمر فى محاليل غنية بالكالسيوم:

استعملت معاملة غمر الخضر والفاكهة الطازجة السابقة التجهيز fresh-cut فى محاليل غنية بالكالسيوم لزيادة صلابة الأنسجة، لأجل زيادة فترة احتفاظها بجودتها، وذلك مع كل من التفاح، والفراولة، الكمثرى، والكوسة، والبلوبرى، والخوخ، والطماطم.

وقد أُرجعت زيادة صلابة الأنسجة بمعاملة الغمس فى محاليل الكالسيوم إلى فعلها الإيجابى فى ثبات الأغشية الخلوية، وتكوين بكتات الكالسيوم التى تزيد من صلابة الصفيحة الوسطى والجدر الخلوية، بما يجعلها أكثر مقاومة لنشاط إنزيم البولى جالاكتيرونيز polygalacturonase عليها، وكذا ما تُحدثه المعاملة من زيادة فى ضغط امتلاء turger pressure الخلايا.

وقد وجد أن إجراء المعاملة فى حرارة عالية يزيد من فاعليتها، وأُرجع ذلك إلى أن الحرارة تزيد من نشاط إنزيم البكتين إستريز pectin esterase الذى يزداد نشاطه فيما بين ٥٥، و ٧٠°م. وهذا الإنزيم هو المسئول عن فصل مجموعات الـ methoxyl من الـ methylated galacturonic acid residues فى البكتين، لتنطلق الأحماض البكتينية التى تحتوى على مجموعات كاربوكسيل carboxyl groups جديدة. ويؤدى توفر أيون الكالسيوم إلى زيادة صلابة النسيج النباتى باتحاده مع مجموعات الكربوكسيل البكتينية pectic carboxyl groups من جراء نشاط إنزيم البكتين إستريز (Luna-Guzmán وآخرون ١٩٩٩).

كذلك وجد أن غمر شرائح الفاصوليا الخضراء والبطاطس والتفاح فى محلول من هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ١٧.٥ جزءًا فى المليون لمدة ٥-٢٠ دقيقة يمنع التلون

البنى، وأن الغمر فى التركيزات الأعلى حتى ١٤٠ جزءًا فى المليون كان بذات فاعلية المعاملة بحامض الأسكوربيك أو بالـ bisulfite ‏(Brecht وآخرون ١٩٩٣).

٤- المعاملة بمركبات أخرى مثبطة للتلون البنى:

إن من أهم المركبات الأخرى التى يمكن أن تُعامل بها المنتجات المجهزة للمستهلك لأجل الحد من التلون البنى، ما يلى (عن Garcia & Barrett ‏٢٠٠٢).

المركب ونوعيته	التركيز الممكن استعماله
خافضات الـ pH	
حامض الستريك	٠,٥٪-٢٪ (وزن/حجم)
أحماض عضوية أخرى: الطرطريك والماليك واللاكتيك	
أحماض غير عضوية: الفوسفوريك والأيدروكلوريك	
مختزلات ومضادات أكسدة	
حامض أسكوربيك	٠,٥٪-١٪
حامض erythorbic	٠,٨٪-١,٦٪
إسترات ascorby-phosphate	٠,٨٪
مثل: AA-2-phosphate	
AA-triphosphate	
مركبات الـ sulfhydryl مثل:	٢٣٠ مللى مول
L-cysteine	
مركبات تكون معقدات complaxing agents:	
cyclodextrin	
β-cyclodextrin	١٪-٤٪
maltosyl-β-cyclodextrin	٤٪
Hydroxyethyl-β-cyclodextrin	١٠٪
مركبات مخلبية chelating agents:	
EDTA	
Polyphosphate	٠,٥٪-٢٪
Sporix™	٠,٢٤٪ Sporix + ١٪ حامض أسكوربيك
مثبطات إنزيمية:	
4-hexyl resorcinol (يثبط PPO)	
أنيونات مثل كلوريد الصوديوم والكالسيوم والزنك	٢٪-٤٪

المركب ونوعيته	التركيز الممكن استعماله
ficin (من التين)، و bromelain (من الأناناس)، والـ papin (من الباباظ)	٠.٥٪ (وزن/حجم)
عسل النحل (يحتوى على ببتيدة صغيرة مثبطة للـ PPO	٢٠٪

وسائل المحافظة على المنتجات المجهزة للمستهلك من التدهور

تتراوح – عادة – فترة بقاء المنتجات المُصنّعة جزئيًا وهى محتفظة بنضارتها (فى حرارة ٠.٦–٣.٣°م) بين ٥ أيام بالنسبة لعيش الغراب المقطع إلى شرائح، و ١٨ يومًا بالنسبة للخس المنظف والمُزال منه السيقان.

ومن أهم الوسائل المتبعة للمحافظة على المنتجات البستانية المُصنّعة جزئيًا من التدهور ما يلى:

١– الخفض السريع لحرارة المنتج:

يتم وقف تدهور المنتجات المُصنّعة جزئيًا بتخزينها على أقل درجة حرارة ممكنة لكل منها، وهى الحرارة التى تلى حرارة التجمد مباشرة بالنسبة للمنتجات غير الحساسة للبرودة، وأقل درجة حرارة لا تظهر معها أضرار البرودة بالنسبة للمنتجات الحساسة للبرودة.

وترتفع قيمة Q_{10} لتنفس وتدهور المنتجات البستانية المُصنّعة جزئيًا إلى ٧ ما بين ١°م، و ١٠°م، بينما تكون عادة ٢–٣ فى حرارة أعلى من ١٠°م، ويعنى ذلك أن تخزين المنتجات المُصنّعة جزئيًا غير الحساسة للبرودة – على حرارة تزيد بدرجة واحدة مئوية أو درجتين مئويتين عن حرارة تجمدها – قد يزيد من فترة احتفاظها بجودتها بمقدار ٣–٥ أضعاف، مقارنة بتلك التى تخزن على ١٠°م؛ ولذا .. فإن أهم ما يجب الاهتمام به بالنسبة للمنتجات المُصنّعة جزئيًا بقاؤها فى أقل درجة حرارة مناسبة طوال مراحل تصنيعها، وتوزيعها، وتسويقها (عن Brecht ١٩٩٥).

إن المحافظة على بقاء المنتجات البستانية الطازجة السابقة التجهيز فى الحرارة المنخفضة يعد أمرًا أساسيًا للمحافظة على جودة تلك المنتجات لحين وصولها إلى

المستهلك. وبينما لا يشكل ذلك أى مشكلة بالنسبة للمنتجات غير الحساسة لأضرار البرودة، فإن المشكلة تكون كبيرة بالنسبية للمنتجات الحساسة للبرودة، مثل الفلفل، والطماطم، والكوسة، والخيار. وتزداد المشكلة تعقيدًا إذا كان قد سبق تعرض تلك المنتجات للحرارة التى يمكن أن تحدث معها أضرار البرودة قبل وصولها مصانع التجهيز.

ويلزم لتجنب تلك المشكلة مراعاة ما يلى:

١- عدم سبق تعريض تلك المنتجات الحساسة لأضرار البرودة فى حرارة تقل عن تلك الموصى بها قبل تجهيزها للمستهلك.

٢- سرعة تخزين المنتجات الطازجة السابقة التجهيز بمجرد الانتهاء من تجهيزها للمحافظة على جودتها وللحد من النمو الميكروبى بها.

٣- يلاحظ أن التغيرات الميكروبية تحدث بصورة أسرع بكثير من أى أعراض خاصة بأضرار البرودة.

٤- غالباً ما تكون توصيات حرارة التخزين وتركيزات الأكسجين وثانى أكسيد الكربون الخاصة بالمنتجات الحساسة للبرودة غير مناسبة لها بعد تجهيزها للمستهلك (Cantwell وآخرون ١٩٩٨).

٢- وقف الفقد الرطوبى من المنتج:

يؤدى فقد الرطوبة من المنتجات المصنّعة – جزئيًا – إلى ذبولها، وانكماشها، وفقدها لطزاجتها. ويفيد – كثيرًا – تعبئتها فى عبوات غير منفذة للرطوبة فى منع فقدها للماء، وفى احتفاظها بمظهرها الجيد.

وتستخدم لهذا الغرض أغشية بوليمرية، وكثيرًا ما تكون هذه الأغشية مثقبة لمنع تولد ظرف لا هوائية داخل العبوات.

٣- وقف أو إبطاء التلون البنى:

يفيد فى هذا الشأن إضافة الكلور إلى ماء الشطف. كما تستعمل عدة مركبات لوقف النشاط الإنزيمى؛ منها: حامض الأسكوربيك، و sodium dehydroacetic acid،

وحامض الستريك، وكلوريد الزنك مع كلوريد الكالسيوم، والسيستين cysteine، وثانى أكسيد الكربون، وأول أكسيد الكربون.

٤- خفض معدل تنفس المنتج بكل وسيلة ممكنة مع تطبيق تقنية الـ MAP:

تحتوى الخضر المُصنّعة جزئيًّا على أنسجة حية تتنفس وتمر بتحولات أيضية. وتؤدى أية وسيلة تُتخذ لإبطاء معدل التنفس إلى زيادة فترة احتفاظها بجودتها؛ ولذا .. يفيد تغليفها فى أغشية بوليمرية مثقبة فى خفض مستوى الأكسجين وزيادة ثانى أكسيد الكربون داخل العبوات؛ الأمر الذى يؤدى بدوره إلى خفض معدل تنفسها.

ويفيد وضع المنتجات المُصنّعة جزئيًّا فى جو معدل أو جو متحكم فى مكوناته فى خفض معدل تنفس تلك المنتجات، ومعدل إنتاجها للإثيلين، ومعدل تدهورها، ويعنى ذلك ضرورة خفض تركيز الأكسجين وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون. ولكن يتعين الانتباه إلى أن ظروف الجو المعدل التى تناسب المنتجات البستانية غير المُصنّعة تختلف كثيرًا عن تلك التى تناسب المنتجات المُصنّعة جزئيًّا، وتلك أمور لم تحسم علميًّا بصورة تامة بعد.

وقد أدت إضافة palladium chloride – على الفحم – إلى العبوات إلى امتصاص كل الإثيلين المنطلق من المنتجات المُصنّعة جزئيًّا. وترتب على ذلك وقف تحلل الكلوروفيل فى الخس (عن Brecht ١٩٩٥).

إن أقصى تركيز لثانى أكسيد الكربون الذى يمكن أن تحدث بعده أضرار للمنتجات البستانية المجهزة للمستهلك يمكن أن يزيد عن التركيز الذى تظهر عنده الأضرار فى المنتجات الكاملة غير المجهزة، أو يساويه، أو يقل عنه. ويمكن أن تحدث تلك الاختلافات لسببين رئيسيين، هما:

١- يمكن أن تختلف ظروف تخزين المنتجات المجهزة للمستهلك – كثيرًا – عن تلك التى تناسب المنتجات الكاملة. و تكون فترة تخزين المنتجات المجهزة أقصر بكثير عن فترة تخزين المنتجات الكاملة. ويكون للمنتج المجهز مساحات خارجية كبيرة؛ مما

يجعله أكثر عرضة لفقد الرطوبة، وتزداد فيه الأجزاء المجروحة، ومعدل التنفس ومعدل إنتاج الإثيلين، والنمو الميكروبى عما يحدث فى المنتج الكامل.

٢- نظرًا لزيادة السعر الذى يباع به المنتج المجهز للمستهلك فإنه يتم توفير الجو المثالى له للمحافظة على جودته، ومن الطبيعى أن صفات الجودة تختلف باختلاف المنتج، كما يختلف تأثرها بكل من حالة المنتج المجهز مقارنة بغير المجهز، وبتركيز ثانى أكسيد الكربون (Watkins ٢٠٠٠).

إن صناعة الخضر والفاكهة الطازجة سابقة التجهيز لا تُصبح ممكنة إلا بعد تطوير عملية التعبئة فى الجو المعدل modified atmosphere packaging، والمحافظة على سلسلة التبريد، وتطوير التكنولوجيا ذاتها (جدول ١٥-٤). علمًا بأن الأساس فى تكنولوجيا الـ MAP هو التعرف على الجو المعدل المثالى لكل منتج على حدة، الأمر الذى يحدد الاختيار الأمثل لمادة التغليف. كما أن هذا التغليف يؤدى إلى جعل الهواء المحيط بالمنتج المجهز شبه مشبع بالرطوبة؛ مما يعنى عدم فقد المنتج لأية رطوبة. هذا إلا أن التكثف المائى داخل العبوة قد يشجع النمو الميكروبى ويقلل من قدرة المستهلك على فحص المنتج قبل الشراء.

إن الأغشية المستعملة فى الـ MAP للخضر والفاكهة الطازجة سابقة التجهيز تسمح بنفاذ الأكسجين من خارج العبوة إلى داخلها، وبمرور ثانى أكسيد الكربون نحو الخارج. ويتحدد تركيب الهواء داخل العبوة عند نقطة التوازن على معدل استهلاك المنتج للأكسجين ومعدل إنتاجه لثانى أكسيد الكربون، وعلى نفاذية الغشاء للغازين، ومساحة سطح الغشاء، وكمية المنتج بداخل العبوة. وتعد سرعة الوصول إلى توازن عند مستوى منخفض من الأكسجين، ومستوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون - أو أى من العاملين - حاسمًا فى منع تلون الأسطح المقطعة للمنتج باللون البنى. ويمكن الإسراع بالوصول لحالة التوازن تلك بتفريغ العبوة من الهواء وضخ هواء جديد فيها يحتوى على الغازين بالتركيز المطلوب عند التوازن (Gorny ١٩٩٧).

ويعد هذا الضخ للهواء المعدل منذ بداية التغليف ضروريًا فى حالة الخس السابق

التجهيز. الذى يلزمه أقل من ١٪ أكسجين لإبطاء تفاعل التلون البنى الذى يتم بواسطة الإنزيم polyphenol oxidase وأكثر من ١٠٪ ثانى أكسيد كربون لتثبيط تمثيل المواد الأولية لذلك التفاعل. هذا .. ولا يفيد هذا الإجراء فى منع التلون البنى فى الثمار المجهزة التى تكون غنية جدًّا فى إنزيم البولى فينول أوكسيديز؛ ومن ثم فإن التركيز العالى لثانى أكسيد الكربون لن يمكنه الحد من كمية المواد الأولية المتوفرة لتفاعل التلون البنى، ويلزم فى تلك الحالة خفض تركيز الأكسجين إلى الصفر لمنع نشاط البولى فينول أوكسيديز كلية.

جدول (١٥-٤): ملخص بتوصيات الـ CA والـ MA لبعض الخضر والفاكهة المجهزة للمستهلك (عن Gorny ٢٠٠١).

المنتج	الحرارة (°م)	الجو		الكفاءة
		الأكجسين (٪)	ثانى أكسيد الكربون (٪)	
بنجر مقشر أو مكعبات أو مبشور	صفر-٥	٥	٥	متوسطة
زهيرات بروكولى	صفر-٥	٢-٣	٦-٧	جيدة
كرنب ممزق	صفر-٥	٥.٠-٧.٥	١٥	جيدة
كرنب صينى ممزق	صفر-٥	٥	٥	متوسطة
جزر شرائح أو عصى	صفر-٥	٢-٥	١٥-٢٠	جيدة
كرات شرائح	صفر-٥	٥	٥	متوسطة
خس دهنى مقطع	صفر-٥	١-٣	٥-١٠	متوسطة
خس ورقى أخضر مقطع	صفر-٥	٠.٥-٣.٠	٥-١٠	جيدة
خس آيس برج مقطع أو ممزق	صفر-٥	٠.٥-٣.٠	١٠-١٥	جيدة
خس ورقى أحمر مقطع	صفر-٥	٠.٥-٣.٠	٥-١٠	جيدة
خس رومين مقطع	صفر-٥	٠.٥-٣.٠	٥-١٠	جيدة
عيش غراب شرائح	صفر-٥	٣	١٠	لا يوصى بها
بصل شرائح ومكعبات	صفر-٥	٢-٥	١٠-١٥	جيدة
فلفل مكعبات صغيرة	صفر-٥	٣	٥-١٠	متوسطة
بطاطس شرائح أو مقشرة	صفر-٥	١-٣	٦-٩	جيدة

تابع جدول (١٥–٤).

المنتج	الحرارة (م)	الجو		الكفاءة
		الأكجسين (٪)	ثانى أكسيد الكربون (٪)	
قرع عسلى مكعبات	صفر–٥	٢	١٥	متوسطة
روتاباجا شرائح	صفر–٥	٥	٥	متوسطة
سبانخ منظفة	صفر–٥	٠,٨–٣,٠	٨–١٠	متوسطة
طماطم شرائح	صفر–٥	٣	٣	متوسطة
كوسة زوكينى شرائح	٥	٠,٢٥–١,٠	—	متوسطة
تفاح شرائح	صفر–٥	< ١	٤–١٢	متوسطة
كنتالوب مكعبات	صفر–٥	٣–٥	٦–١٥	جيدة
جريب فروت شرائح	صفر–٥	١٤–٢١	٧–١٠	متوسطة
شهد العسل مكعبات	صفر–٥	٢	١٠	جيدة
كيوى شرائح	صفر–٥	٢–٤	٥–١٠	جيدة
مانجو مكعبات	صفر–٥	٢–٤	١٠	جيدة
برتقال شرائح	صفر–٥	١٤–٢١	٧–١٠	متوسطة
خوخ شرائح	صفر	١–٢	٥–١٢	ضعيفة
كمثرى شرائح	صفر–٥	٠,٥	< ١٠	ضعيفة
كاكى شرائح	صفر–٥	٢	١٢	ضعيفة
رمان مفصص	صفر–٥	—	١٥–٢٠	جيدة
فراولة شرائح	صفر–٥	١–٢	٥–١٠	جيدة
بطيخ مكعبات	صفر–٥	٣–٥	١٠	جيدة

غنى عن البيان أن الـ MAP يحد من معدل التنفس ومن فقد الطاقة — المحدودة أصلا فى المنتج المجهز — إلاّ أن المعول الأساسى فى خفض معدل التنفس يكون التخزين على الحرارة المنخفضة فى المجال المناسب للمحصول، ومع المحافظة التامة على سلسلة التبريد، وإلاّ اختل التوازن بين تركيز غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، وانعكس ذلك على فترة التخزين الممكنة وجودة المنتج، حيث يمكن أن يبدأ فى التخمر وتنمو بكتيريا حامض اللاكتيك، وهما أمران يكسبان المنتج مذاقًا ورائحة غير مقبولين.

وإلى جانب ما تقدم بيانه فإن الجروح التى تحدث فى المنتج سابق التجهيز تحفز إنتاج الإثيلين الذى يساعد على سرعة انهيار الأنسجة، إلا أن سرعة الوصول إلى تركيز منخفض من الأكسجين وآخر عالٍ من ثانى أكسيد الكربون يخفض من إنتاج المنتج للإثيلين (Gorny ١٩٩٧).

٥- اتخاذ إجراءات نظافة صارمة لمنع التلوث الميكروبى:

يمكن أن تتلوث الخضروات المُصنّعة جزئيًّا بعديد من الميكروبات التى تسبب فسادها؛ مثل الخمائر، والفطريات، والبكتيريا. كما أن بعض البكتيريا التى قد تتواجد بها — مثل *Clostridium botulinum*، و *Listeria monocytogens* — تعد سامة للإنسان، وبينما يبدأ تكاثر النوع الأول فى حرارة ٧°م، فإن النوع الثانى يتكاثر جيدًا فى الصفر المئوى. كذلك قد تتلوث هذه الخضروات — عن طريق القائمين بإعدادها — ببكتيريا أخرى تصيب الإنسان؛ مثل *Staphylococcus aureus*، و *Streptococcus* spp. ولذا .. فإن اتخاذ إجراءات النظافة الصارمة أثناء إعداد هذه المنتجات يعد أمرًا حيويًّا، وخاصة أن معظمها يستهلك طازجًا (عن Hurst ١٩٩٥).

ويعد الغسيل ضروريًّا لإزالة التربة والمواد الملوثة للخضر، كما يتعين الشطف بالماء المضاف إليه الكلور قبل تعبئة المنتجات، وذلك لتقليل أعداد الميكروبات التى قد تتواجد بها.

ويجب أن يحافظ على pH المحاليل المضاف إليها الكلور قريبًا من التعادل لكى يبقى الكلورين فى الحالة النشطة (حالة الـ hypochlorous acid form).

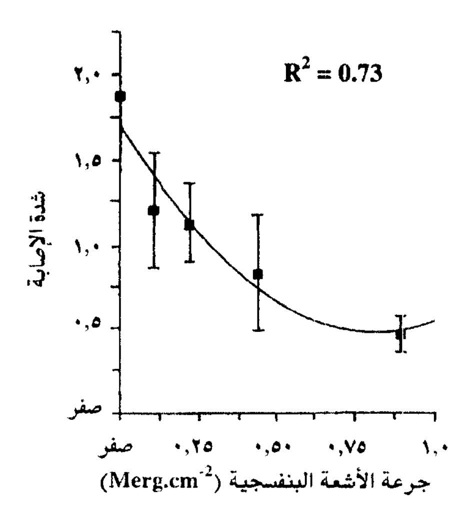
وقد تستعمل كذلك محاليل من أحماض عضوية أو حامض السوربيك sorbic acid لمكافحة البكتيريا.

ومن المميزات الإضافية لاستعمال الكلور فى ماء الشطف تقليل التلون البنى.

ونظرًا لأن الرطوبة الحرة تساعد على سرعة تكاثر الكائنات الدقيقة؛ لذا .. يتعين التخلص من الماء السطحى الزائد — قبل التعبئة — بالطرد المركزى، أو بأية طريقة أخرى مناسبة.

٦- المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية:

تفيد المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية فى الحد من الإصابة بالبوتريتس *Botrytis cinerea* فى الجزر على سبيل المثال (شكل ١٥-٤).



شكل (١٥-٤): تأثير التعريض للأشعة فوق البنفسجية على قابلية الجزر المجهز للمستهلك للإصابة بالفطر ***Botrytis cinerea*** مسبب مرض العفن الرمادى (**Arul** وآخرون ٢٠٠١).

الفصل السادس عشر

تصدير وشحن الحاصلات البستانية

الشروط اللازم توفرها لنجاح العملية التصديرية

من غير المناسب تلخيص الشروط التى يلزم توفرها لنجاح العملية التصديرية فى عشرة أو عشرين شرطًا؛ ذلك لأن تحقيق النجاح المأمول يتطلب الالتزام بتنفيذ كل ما جاء فى الفصول السابقة من هذا الكتاب، بالإضافة إلى ما يأتى بيانه فى هذا الفصل بخصوص عملية الشحن. وبغير ذلك تكون مجازفة غير ذوى الخبرة بالتصدير حرثًا فى البحر، أو – على أقصى تقدير – الخروج بصفقة وحيدة، قد تضر – ليس فقط بسمعة المصّدر – ولكن – بسمعة المنتجات المصرية بصورة عامة؛ الأمر الذى ينعكس على أسعار توريد تلك المنتجات فى الأسواق العالمية.

ومن بين الشروط التى تلزم لنجاح العملية التصديرية – التى ربما لم يأت بيانها فى هذا الكتاب – ما يلى:

١– زراعة الأصناف التى تطلبها الأسواق الأجنبية. ويشترط لنجاح زراعتها وتصديرها أن تكون ذات محصول مرتفع تحت الظروف المصرية، وأن تتحمل الشحن، وأن تكون ذات مواصفات تخزينية جيدة.

٢– تركيز المساحات المزروعة للتصدير؛ وذلك لتسهيل عمليات الإنتاج والتعبئة والشحن.

٣– زراعة محاصيل التصدير فى المواعيد المناسبة للتصدير، حتى تعطى المحصول فى وقت تقل فيه المنافسة الأجنبية. فمثلاً يصدر البصل المصرى خلال مارس وأبريل ومايو لعدم نضج البصل الإسبانى – وهو أول بصل أوروبى – قبل آخر شهر مايو.

٤– الاهتمام بحصاد الحاصلات الثمرية كالطماطم والفراولة والكنتالوب قبل تمام نضجها حتى تتحمل عملية الشحن. ويتوقف طور النضج المناسب للحصاد على بُعْد السوق المصدر إليها.

٥- اتباع الأسلوب التعاونى الخاص فى الإنتاج والتسويق، مع إجراء عمليات الفرز والتعبئة فى مناطق الإنتاج. وتعتبر هذه النقطة من أهم مشاكل تصدير الحاصلات البستانية فى مصر.

٦- يجب ألا يُسْمَح بالاشتغال فى التصدير إلا لمن يتمتع بسمعة تجارية حسنة، ومن يستمر فى الوفاء بالتزاماته وعقوده.

٧- ضرورة متابعة رسائل الحاصلات المصدرة بعد وصولها إلى الأسواق الخارجية، ومحاولة وضع سياسة ثابتة لحل المشاكل أولا بأول.

٨- التوسع فى زراعة الحاصلات التصديرية، مع ميكنة إنتاجها، وبغير ذلك يصعب التعاقد – سلفًا – مع المستوردين؛ نتيجة لقلة الكميات المنتجة من معظم الحاصلات البستانية للتصدير، وبالتالى عدم إمكان وضع سياسة ثابتة للتصدير. وقد أدى ذلك إلى عدم إمكان الاستجابة – أحيانًا – لطلبات السوق الخارجية، مع فقد ثقة العملاء بقدرتنا على مدهم بطلباتهم من حاصلات التصدير.

٩- أدى عدم وجود سياسة ثابتة للتصدير وقلة الكميات المصدرة إلى عدم إمكان تطبيق نظام البيع بالأمانة الذى يتبع فى بيع المحاصيل السريعة التلف – مثل الحاصلات البستانية – حيث يباع المحصول بالمزاد فى الأسواق التى يصل إليها بالسعر السائد فى ذلك الوقت حسب حالة السوق، دون التقيد بسعر سابق. ويتطلب تطبيق هذا النظام وجود مندوبين دائمين للجهات المصدرة بالأسواق المصدر إليها، ولكن ذلك لا يتأتى إلا عند وجود سياسة ثابتة للتصدير، مع استمرار التصدير سنويًا لنفس الأسواق بمعدلات عالية.

١٠- يلزم عمل الدعاية اللازمة للمنتجات المصرية بالأسواق الأجنبية.

مواسم التصدير

تتباين مواسم تصدير الحاصلات البستانية إلى الدول الأوروبية باختلاف المحصول، كما يأتى:

المحصول	موسم التصدير
البطاطس	يناير حتى أبريل
البصل (الأبصال)	مارس حتى مايو
الطماطم العادية والكريزية	نوفمبر حتى أبريل
البسلة العادية	نوفمبر حتى مارس
الفاصوليا	أكتوب حتى يونية ما عدا الصنف هيلداء من ديسمبر حتى مارس
الفول الرومى	فبراير ومارس
الخرشوف	ديسمبر حتى أبريل
الباذنجان	أكتوبر حتى أبريل
الكوسة	أكتوبر حتى مارس
الكرنب	أكتوبر حتى فبراير
القنبيط	أكتوبر حتى فبراير
الخس الآيس برج	نوفمبر حتى مايو
الكرفس	أكتوبر حتى أبريل
الفلفل بكل طرزه	نوفمبر حتى أبريل
الفراولة	ديسمبر حتى مايو
البسلة السكرية والمنجتوه	نوفمبر حتى مارس
البصل الأخضر	أكتوبر حتى أبريل
الثوم	فبراير حتى أبريل
الذرة السكرية	نوفمبر حتى فبراير
الخيار	نوفمبر حتى أبريل
العنب	مايو حتى سبتمبر (أصناف مختلفة)
كنتالوب الجاليا والشارنتيه	نوفمبر حتى يناير، وأبريل ومايو
المشمش	يونيه ويوليه
المانجو	يوليه حتى سبتمبر
الجوافة	أغسطس حتى أكتوبر
الخوخ	أبريل حتى يونية

الشحن

تلزم المحافظة على صفات الجودة فى الحاصلات البستانية أثناء عملية الشحن بتوفير الظروف المناسبة لها من درجة حرارة ورطوبة نسبية، مع مراعاة كافة العوامل التى سبق ذكرها عند مناقشة موضوع التخزين. فالمدة التى تمر بها الحاصلات أثناء الشحن هى فى واقع الأمر جزء من فترة التخزين التى تمر فيما بين الحصاد والتسويق.

تحميل الشاحنات والحاويات بالمنتجات المختلطة

يجب إعطاء اهتمام كافٍ بعملية تحميل المنتجات المختلطة، كما يلى:

١– عدم تحميل الحاصلات البستانية غير المتوافقة – بين بعضها البعض – معًا (موضوع العنوان التالى).

٢– عدم خلط الخضر والفاكهة أبدًا أى منتجات غير غذائية لأجل تجنب مخاطر التلوث الذى قد يحدث سواء أكان على صورة روائح، أم متبقيات كيميائية سامة.

٣– وضع كراتين متساوية الحجم معًا فى البالتة الواحدة لزيادة ثباتها.

٤– توزيع المنتجات الثقيلة على أرضية الحاوية، ثم وضع المنتجات الخفيفة عليها.

٥– مراعاة تواجد عينة ممثلة من كل منتج قريبًا من باب الحاوية لتسهيل فحص المنتج فى ميناء الوصول. وحتى لا تكون هناك ضرورة لتفريغ الشحنة كلها لأجل الحصول على عينات الفحص (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

توافق وعدم توافق الحاصلات البستانية عند شحنها

إن توافق المنتجات عند تواجدها مختلطة معًا أثناء الشحن أو التخزين يتوقف على العوامل التالية:

١– درجة حرارة التخزين الموصى بها.

٢– الرطوبة النسبية الموصى بها.

٣- الحساسية للبرودة أو أضرار التجمد.

٤- إنتاج الغازات والمواد المتطايرة والحساسية لها.

٥- إنتاج الروائح وامتصاصها لها.

ومن بين المنتجات التى لا يجوز الجمع بينها بسبب اكتساب بعضها للروائح التى ينتجها بعضها الآخر، ما يلى:

١- التفاح أو الكمثرى مع الكرفس أو الكرنب أو الجزر أو البطاطس أو البصل.

٢- الكرفس مع البصل أو الجزر.

٣- الموالح مع أى من الخضر ذات الروائح القوية (Wilson وآخرون ١٩٩٩ب).

هذا .. ويكتسب التفاح والكمثرى طعم التربة (earthy taste) إذا ما خزنا مع البطاطس. ويوصى – دائمًا – بتخزين كل من البصل، والنقل، والموالح، والبطاطس على انفراد (عن Bachmann & Earles ٢٠٠٠).

وفى محاولة لتجميع الخضر والفاكهة المتوافقة معًا والتى تناسبها ظروف تخزين واحدة – لمدة سبعة أيام – قسم Thompson وآخرون (٢٠٠٧) تلك المنتجات إلى ثلاث فئات، كما يلى:

المجموعة الأولى:

تخزن خضر هذه المجموعة على صفر-٢ °م فى ٩٠٪ إلى ٩٨٪ رطوبة نسبية، وتتضمن معظم الخضر الورقية والكرنبية وفاكهة المناطق الباردة.

المجموعة الثانية:

تخزن خضر هذه المجموعة على ٧-١٠ °م فى ٨٥٪ إلى ٩٥٪ رطوبة نسبية، وتتضمن الموالح والفاكهة تحت الاستوائية وكثير من الخضر الثمرية.

المجموعة الثالثة:

تخزن خضر هذه المجموعة على ١٣-١٨ °م فى ٨٥٪ إلى ٩٥٪ رطوبة نسبية وتتضمن الخضر الجذرية وقرع الشتاء والكنتالوب ومعظم الفاكهة الاستوائية.

وفي تقسيم الخضر والفاكهة حسب توافقها معًا، اقترح ما يلي:

١– التخزين لمدة لا تزيد عن سبعة أيام، حتى لا تُضار المنتجات التى لا تناسبها الحرارة المقترحة بسبب حساسيتها للبرودة.

٢– لا يُسمح بوصول تركيز الإثيلين إلى جزء واحد فى المليون، وخاصة مع المجموعة الأولى التى تضم الخضر الورقية؛ ولذا تتُخذ الإجراءات الكفيلة بمنع تراكم الغاز فى المخازن، أما أثناء النقل فى الشاحنات، فلا يخشى من هذا الأمر، ربما بسبب المعدل العالى لتسرب الهواء منها أثناء سيرها. ولكن قد يصل تركيز الإثيلين إلى درجة الخطورة فى الشاحنات الجديدة المحكمة الإغلاق عند شحن المنتجات الحساسة للإثيلين مع تلك المنتجة لها.

تتطلب المجموعة الأولى رطوبة نسبية عالية لأنها تتضمن عديدًا من الخضر الورقية.

ولمزيد من التفاصيل حول هذا التقسيم للحاصلات البستانية وإمكان شحنها معًا يراجع بيان ذلك فى الفصل اللحادى عشر.

متطلبات المحافظة على سلسلة التبريد فى الشاحنات والحاويات

يتعين لأجل المحافظة على سلسلة التبريد عند تحميل الشاحنات أو الحاويات، ما يلى:

١– أن يتوفر بالأماكن المبردة بمحطات التعبئة مكانًا مبردًا معزولاً عن الجو الخارجى يمكن أن تقف فيه الشاحنة أو الحاوية لتحميلها دون أن يتعرض المنتج للجو الخارجى ودون أن يحدث اختلاط بين الهواء الخارجى وهواء المخزن المبرد.

٢– أن يصمم مكان التحميل بطريقة تسمح بتحميل الشاحنة أو الحاوية بيسر وسهولة سواء أتم ذلك يدويًا، أم باستعمال الشوكة الرافعة.

٣– ضرورة تبريد الشاحنة أو الحاوية إلى حرارة الشحن المرغوب فيها قبل تحميلها بالمنتج المبرد.

٤– أن يكون نظام التبريد فى حاويات الشحن البحرى من أسفل.

٥- أن تكون حاويات الشحن البحرى مزودة بمولدات كهرباء. لكى يمكن تبريدها واستمرار تبريد المنتج خلال مرحلة الشحن.

الأمور التى يتعين التأكد منها قبل تحميل حاويات الشحن البحرى

يتعين قبل تحميل حاويات الشحن البحرى التأكد مما يلى:

١- توفر وحدة التبريد فيها وعملها بكفاءة.

٢- التخلص من كل ما قد يوجد فيها من نفايات.

٣- التأكد من عدم وجود ثقوب بجدرانها.

٤- التأكد من جودة وسلامة العزل الحرارى بها.

٥- التأكد من إحكام إنغلاق الأبواب.

٦- تطهير الحاوية بمطهر مسموح به.

٧- تشغيل فتحات التهوية — عند اللزوم — بالقدر المناسب للمنتج.

٨- ضبط منظم الحرارة على الدرجة المطلوبة للمنتج.

٩- تبريد الحاوية قبل بدء تحميلها.

التحميل الجيد للحاويات

يتم تحميل الحاويات حتى ارتفاع ٢,٢م بالداخل، وعلى ألا يزيد ارتفاع التحميل عن الخط الأحمر (load limit line) لكى لا يتعارض مع التهوية الجيدة وحركة الهواء البارد. ويتعين أن تكون الكراتين المستخدمة فى التعبئة بقوة تسمح لها بتحمل هذا الارتفاع.

كذلك يجب ألا يزيد التحميل عن حدود الـ "T" بأرضية الحاوية لا تكون الكراتين قريبة أكثر من اللازم من باب الحاوية الخلفى؛ لأجل السماح بحركة جيدة للهواء، وعلى ألا يقل التحميل عن حدود الـ "T" بأكثر من نصف متر؛ لكى لا تقل حركة انسياب الهواء البارد من الكراتين جراء اتخاذه أقل المسارات مقاومة لحركته فى المكان الخالى من كراتين المنتج.

ومن الضرورى تأمين وضع البالتات جيدًا حتى لا يتغير وضعها أثناء الشحن.

الأمور التى تجب مراعاتها فى ميناء الشحن وأثناء الرحلة وعند ميناء الوصول

لدى وصول سفينة الشحن إلى ميناء الشحن يتعين على الشركة المالكة للسفينة التأكد مما يلى:

١– أن منظم الحرارة مثبت على الدرجة المناسبة للمحصول.

٢– قياس درجة حرارة الحاوية عند الوصول وبيان ذلك فى أوراق الشحن.

٣– يمكن لشركة الشحن – إذا رأت – فتح باب الحاوية للتأكد من سلامة وضع البالتات، وحالة الكراتين، وطراوة أنسجة المنتج.

٤– توصيل الحاوية بكهرباء ميناء الشحن بعد استكمال إجراءات الاستلام.

٥– جعل الحاوية فى وضع يسمح بحقن هوائها الداخلى بهواء معدل أو متحكم فيه إذا كان ذلك مطلوبًا من المصدِّر.

٦– يتم فى خلال ساعتين من تحميل الحاوية على السفينة توصيلها بكهرباء السفينة.

وعلى شركة الشحن مراعاة ما يلى أثناء الرحلة:

١– مراجعة حرارة الحاوية بصورة منتظمة.

٢– إصلاح أى عيوب قد تظهر أثناء الرحلة.

أما عند ميناء الوصول فإن على الشركة وسلطات الميناء مراعاة ما يلى:

١– توصيل الحاوية بكهرباء الميناء بمجرد إنزالها من سفينة الشحن.

٢– مراجعة حرارة الحاوية بانتظام أثناء فترة انتظار الإجراءات الجمركية وإلى حين تسليمها للمستورد.

٣– تجهيز الحاوية للإجراءات الجمركية وإجراءات الفحص الرسمية الأخرى.

٤– توصيل الشحنة إلى المستورد سريعًا بعد الإفراج عنها (Tator ١٩٩٧).

أنواع الحاويات

تتنوع الحاويات المستخدمة في الشحن، كما يلي:

الحاويات المبردة

ينقل جزء كبير ومتزايد من منتجات الخضر والفاكهة الطازجة عبر البحار والمحيطات فيما يعرف بالـ reefer containers، وهي حاويات مبردة يتوفر بها عزل حرارى ولها وحدات تبريد خاصة بها. وتصنع تبعًا لمواصفات المنظمة الدولية للمقاييس international Standards Organization، والتي تتطلب أن يكون بناؤها قويًا بحيث يمكنها استيعاب ٣٠ طنًا من المنتجات وأن تتحمل ثقل ٩ حاويات تُصف فوقها.

يوجد بجدر هذه الحاويات ٧٠ ملليمترًا من مادة عازلة تتكون غالبًا من الـ polyurethane foam. ويصل التسرب الحرارى للحاويات الجديدة – عادة – إلى حوالى $22\ KW^{1-}$، وإن كانت بعض الحاويات التي تصمم خصيصًا لنقل الخضر والفاكهة الطازجة تكون أقل عزلاً، ويصل فيها التسرب الحرارى إلى $35\ KW^{-1}$. يحتوى الفوم foam غالبًا على halocarbons ذى قدرة توصيل منخفضة بغرض تحسين قدرته على العزل. ونجد أن كفاءة العزل تقل مع الوقت بسبب فقد الـ halocarbons بنحو ٣٪–٥٪ سنويًا.

ويظهر جدول (١٦–١) بيانًا بأحجام وأبعاد وسعة الحاويات المبردة (عن Thompson ٢٠٠٣).

الحاويات "البورثول" أو "الكونير"

إن الحاويات البورثول Porthole container – أو الكونير Conair – هي حاويات ذات عزل، ولكنها لا تحتوى على وحدات تبريد خاصة بها. وعوضًا عن ذلك فإن بها فتحات بقطر ١٠سم يمكن إيصالها بوحدة تبريد خارجية عن طريق خرطوك مرن. وتستعمل تلك الحاويات في البواخر التي توصل فيها الحاويات بأجهزة التبريد الخاصة بالسفينة، كما يمكن توصيلها – كذلك – بوحدات التبريد بالموانئ لتبريد المحصول أثناء انتظار تحميله على السفينة.

جدول (١٦-١): أحجام وسعة الحاويات المبردة.

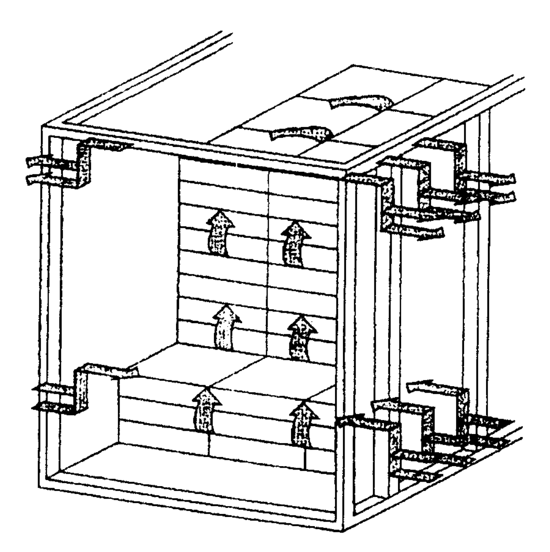
الطراز	الأبعاد الخارجية	الأبعاد الداخلية
٢٠ قدم (20 foot (RM2		
الطول Length	٦٠٩٦ ملليمتير	٥٥٠١ ملليمتير
العرض width	٢٤٣٨ ملليمتير	٢٢٦٤ ملليمتير
الارتفاع height	٢٥٩١ ملليمتير	٢٢٥٣ ملليمتير
الاستيعاب capacity	٢٨,٠٦ متر مربع	
الوزن الفارغ tare	٣٠٦٨ كيلوجرام	
أقصى صافى الحمولة maximum payload	٢١٩٣٢ كيلوجرام	
ISO payload	١٧٢٥٢ كيلوجرام	
٤٠ قدم (40 foot (RM4		
الطول Length	١٢١٩٢ ملليمتير	١١٦٣٨ ملليمتير
العرض width	٢٤٣٨ ملليمتير	٢٢٦٤ ملليمتير
الارتفاع height	٢٥٩١ ملليمتير	٢٢٥٣ ملليمتير
الاستيعاب capacity	٥٩,٨١ متر مربع	
الوزن الفارغ tare	٤٥١٠ كيلوجرام	
أقصى صافى الحمولة maximum payload	٢٧٩٩٠ كيلوجرام	
ISO payload	٢٥٩٧٠ كيلوجرام	
٤٠ قدم (40 foot (RM5		
الطول Length	١٢١٩٢ ملليمتير	١١٦٣٨ ملليمتير
العرض width	٢٤٣٨ ملليمتير	٢٢٦٤ ملليمتير
الارتفاع height	٢٨٩٦ ملليمتير	٢٥٥٧ ملليمتير
الاستيعاب capacity	٦٨,٠٣ متر مربع	
الوزن الفارغ tare	٤٦٢٠ كيلوجرام	
أقصى صافى الحمولة maximum payload	٢٧٨٨٠ كيلوجرام	
ISO payload	٢٥٨٦٠ كيلوجرام	

تتميز تلك النوعية من الحاويات بأن إيجارها يكون منخفضًا، وأن بالإمكان تبريدها بسرعة كبيرة، بسبب قدرة التبريد الكبيرة لبواخر الشحن، ولكن يعيبها ضرورة الحاجة إلى تسهيلات خاصة بكل من الميناء والسفينة، وأن تبريد الحاوية لا يبدأ إلا بعد وصولها

إلى الميناء، وليس فى محطة التعبئة. حيث يتم تحميلها بالمنتج المبرد؛ مما يؤدى إلى كسر سلسلة التبريد، بعكس الحال فى الـ reefer container التى توجد بها وحدات التبريد الخاصة بها.

الحاويات المهواه

إن الحاويات المهواه ventilated containers هى حاويات قياسية لا يوجد بها عزل ولا وحدات تبريد، ولكن يوجد بها نظام للتهوية. يتكون من مجرد فتحات مربعة على جانبى طول الحاوية تغطى بريِّش مسدلة إلى أسفل. يوجد صفان من تلك الفتحات أحدهما قرب قمة الحاوية والآخر قرب قاعدتها. وتتم التهوية بطريقة سلبية حيث يخرج الهواء الدافئ من الفتحات العليا ليحل محله هواء أبرد – نسبيًّا – من الخارج (شكل ١٦–١).



شكل (١٦–١): مسار حركة الهواء خلال المنتج فى الحاويات المهواه.

تتميز تلك الحاويات بأن إيجارها يكون أرخص من إيجار الحاويات المبردة. وهى تستخدم فى شحن البصل والبطاطس.

الحاويات ذات الهواء المعدل

استعملت الحاويات ذات الهواء المعدل modified atmosphere containers منذ عدة عقود بدرجات مختلفة من النجاح. تتميز تلك الحاويات بأنها محكمة الإغلاق تماماً. وبأنه يتم حقنها بهواء معدل يحتوى على النسب المرغوب فيها من الغازات. وذلك من خلال فتحات بارزة بها. هذا .. ولا يوجد أى تحكم إضافى فى مكونات الهواء بالحاويات بعد ذلك أثناء رحلتها.

الحاويات ذات الهواء المتحكم فى مكوناته

تختلف الحاويات ذات الهواء المتحكم فى مكوناته controlled atmosphere containers عن تلك ذات الهواء المعدل فى أن الأولى توجد بها آلية لتقدير التغيرات فى نسب الغازات وضبطها إلى النسب المرغوب فيها، لتبقى ثابتة طوال فترة الرحلة. هذا .. ولا تشكل تلك النوعية من الحاويات سوى نسبة بسيطة من الحاويات المستخدمة فى النقل البحرى على مستوى العالم. فقد كان العدد ١٠٠٠ حاوية فقط ذات هواء متحكم فى مكوناته (رطوبة نسبية وأكسجين وثانى أكسيد الكربون) من بين ٣٨٠٠٠ حاوية مبردة reefer containers كانت فى الخدمة فى عام ١٩٩٧ (عن Thompson ٢٠٠٣).

إن الوسيلة الوحيدة لمنع تراكم الغازات التى تضر بالمنتج فى الحاويات والشاحنات غير المتحكم فى مكونات هوائها، هى بضبط فتحات التهوية على الدرجة المناسبة طوال الرحلة.

أما عندما يتم التحكم فى مكونات هواء الحاوية، فإن ذلك قد يتم بصورة نشطة ومتجددة طوال فترة الرحلة (CA)، أو من خلال ضخ هواء بالتركيب المناسب للمنتج فى بداية الرحلة فقط (MA).

وفى كلتا الحالتين إما أن يتم تأمين باب الحاوية تماما ضد نفاذ الغازات، وإما أن يتم وضع كيس بلاستيكى ضخم يمكن أن يستوعب الشحنة كلها داخل الحاوية وهى فارغة، ثم — وبعد وضع الشحنة فيه — يتم ضخ الهواء بالتركيب المطلوب فيه. وتقوم بعض شركات النقل البحرى بتأمين الهواء بالتركيب المطلوب، وبعمليات خدمة المنتج أثناء الرحلة.

نظم التحكم فى حرارة الهواء فى الشاحنات والحاويات

تعد حركة الهواء داخل الشاحنة أو الحاوية ضرورية لمنع تجمع الهواء الساخن، ولضمان تجانس حرارة المنتج، ولأجل التخلص من أى حرارة يتم اكتسابها أو تنتج عن تنفس المنتج أولا بأول.

حركة الهواء

يعرف نظامان رئيسيان لإطلاق وحركة الهواء فى الشاحنات والحاويات، هما:

١- نظام الإطلاق من القمة top-air delivery system:

وفيه يدفع الهواء البارد من قمة الشاحنة فى الجهة الأمامية، حيث يندفع حتى جهتها الخلفية، وتحت ضغط الهواء المدفوع يبدأ الهواء فى الحركة إلى أسفل من الجهة الخلفية وكذلك بين بالتات وعبوات المنتج إلى أن يصل إلى أسفل، حيث يندفع فى اتجاه مقدمة الشاحنة، ليتجه إجباريًّا إلى أعلى حيث يتم تبريده ومن ثم دفعه مرة أخرى.

٢- نظام الإطلاق من القاعدة bottom-air delivery system:

هو النظام الأكثر شيوعًا فى الحاويات حيث يتم ضخ الهواء البارد من أسفل عند مقدمة الحاوية، حيث يصل إلى مؤخرتها، ويبدأ — تحت ضغط الهواء المدفوع — فى الاتجاه إلى أعلى بين بالتات وعبوات المنتج إلى أن يصل إلى أعلى، حيث يتجه نحو مقدمة الشاحنة؛ ليتم تبريده ودفعه من جديد من أسفل. وفى النظام يتعين شغل كل قاعدة الحاوية ببالتات المنتج لكى لا تقتصر حركة الهواء إلى أعلى على أقل الأماكن مقاومة، وهى التى لا تغطى بالبالتات.

تأمين حركة الهواء واستمرار التبريد دون إعاقة

يجب تنظيف وسيلة النقل جيدًا قبل تحميلها لكى لا توجد عوائق أمام حركة الهواء فى القنوات السفلى، أو أمام التصريف فى ثقوب التصريف.

ومن الأهمية بمكان وقف التبريد الآلى فى الشاحنة أو الحاوية بمجرد فتح الباب لأجل تحميلها؛ وذلك حتى لا تدفع المروحة الخاصة بوحدة التبريد الهواء الساخن من

الخارج، وهو الذى يؤدى من ناحية إلى تدفئة الحاوية بعد أن كان قد تم تبريدها. ويؤدى من ناحية أخرى إلى زيادة الرطوبة فى الهواء الداخلى للحاوية (لأن الهواء الدافئ الداخل إليها يكون أكثر قدرة على حمل بخار الماء)، وهى التى تكثف - فيما بعد - على ملفات التبريد، وتقلل كفاءتها فى التبريد. وتحدث نفس المشاكل إذا ترك باب الحاوية مفتوحًا لفترة طويلة حتى مع عدم تشغيل وحدة التبريد فيها.

وسائل التبريد

تتوفر ثلاث وسائل رئيسية للتبريد فى وسائل نقل المنتجات الطازجة، هى التبريد الميكانيكى، والتبريد بالثلج، والتبريد بالمواد فائقة التبريد.

إن التبريد الميكانيكى mechanical refrigeration هو أكثر طرق التبريد شيوعًا واستخدامًا. وهو يعتمد على وحدة تبريد - لا تختلف عن تلك التى تعمل بها الثلاجات المنزلية - وتتكون من مبخر evaporator، وضاغط compressor، ومكثف condenser، وصمام تمدد للغاز expansion valve. يمتص السائل المبرد فى المبخر الحرارة من الهواء الساخن المحيط بالمنتج، ليتحول إلى بخار. يلى ذلك ضغط البخار فى الضاغط حتى ضغط يكفى لأن تطلق المادة المبردة الحارة وتتكثف فى الجو العادى داخل المكثف. وتعمل وحدة التبريد إما بآلة ديزل أو بموتور كهربائى، أو بهما معًا. ويتوفر مع وحدة التبريد منظم حرارى يستخدم فى تثبيت الحرارة المطلوبة فى حدود مجال ±١°م. يؤدى تجمد بخار الماء على ملفات التبخير إلى خفض كفاءة وحدة التبريد، مما يتطلب التخلص من الصقيع المتجمد على فترات بواسطة سخان كهربائى. وتتوقف حركة الهواء أثناء عملية إذابة الصقيع حتى لا تصل الحرارة المستخدمة فى الإذابة إلى المنتج.

أما التبريد بالثلج ice cooling فإنه يعتمد على إضافة الثلج على قمة المنتج المحمل فى الحاوية أو الشاحنة، أو بين عبوات المنتج. وقد يكون التبريد بالثلج منفردًا أو مكملًا للتبريد الميكانيكى. ومن أهم عيوب التبريد بالثلج عدم صلاحيته لكل المنتجات الطازجة، وضرورة التخلص من الماء الذى يتجمع من ذوبان الثلج. وتأثير استعمال الثلج

على الحد الأقصى لكمية المنتج التى يمكن تحميلها لأن هناك حدًا أقصى لوزن الحاويات أو الشاحنات التى تسير على الطرق.

وأما التبريد بواسطة المواد فائقة البرودة cryogenic cooling فيستخدم فيه النيتروجين السائل (–١٩٦°م)، وثانى أكسيد الكربون السائل (–١٨°م)، وثانى أكسيد الكربون الصلب أى الثلج الجاف (–٧٩°م). ولم يعد استخدام تلك الطريقة فى التبريد شائعًا (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

الشحن الجوى

يستخدم النقل الجوى لنقل المنتجات التى تكون فترة صلاحيتها للبقاء بحالة جيدة بعد الحصاد قصيرة، والتى يحتاج الأمر لنقلها لمسافات طويلة عبر الدول والقارات. وكذلك عندما يكون هناك نقص ملحوظ فى منتج معين فى الأسواق المصدر إليها، أو عندما تكون الأسعار فيه عالية بدرجة تغطى تكلفة النقل الجوى. وعلى الرغم من تلك التكلفة العالية للنقل الجوى، فإنه يفيد فى إسراع دورة رأس المال التى تعطل أثناء الشحن البحرى. ويتوفر حاليًا طائرات نفاثة خاصة محورة لتكون عريضة وتتسع للنقل الجوى، وذلك مثل طراز Boeing 747F. وهى التى قد تتسع لحمولة ١٢٠ طن.

هذا .. ويمكن شحن منتجات الخضر والفاكهة الطازجة على كل من طائرات الركاب وطائرات الشحن. وبصورة عامة تكون رحلات الركاب أكثر انتظامًا فى مواعيدها عن رحلات الشحن، ولذا .. فإنها قد تكون هى الأنسب للمنتجات السريعة التلف. إلا أن الأولوية فى رحلات الركاب تعطى للركاب وحقائبهم؛ مما قد يعنى عدم توفر مكان للمنتجات التى يُراد شحنها.

يجب أن يتم تحميل وتفريغ شحنات النقل الجوى خلال فترة قصيرة، نظرًا لقصر الفترة بين وصول الطائرة ومغادرتها. وللمساعدة فى ذلك الأمر فإن البضاعة المشحونة جوًا يتم رصها فيما يعرف باسم unit load devices (اختصارًا: ULD) قبل تحميلها بوقت كافٍ.

وتتوفر أحجام مختلفة من الـ ULD لتناسب الأبعاد الداخلية لمختلف المساحات المتاحة للبضاعة فى الطائرات. وأكثر الأحجام شيوعًا تكون أبعاد قاعدتها ٢٢٣.٥سم × ٣١٧.٥سم، و ٢٤٣.٨سم × ٣١٧.٥سم. ولكل موديل من الـ ULD الوزن الخاص الذى يمكن أن تحمله. ويمكن أن تتسع موديلات نصف الحجم لنحو ١.٥ طن من المنتج، بينما تتسع موديلات الحجم الكامل لنحو ٦.٨ طن من المنتج. وتصنع الـ ULD من مواد خفيفة الوزن لأن للوزن أهمية كبيرة فى الشحن الجوى. ولذا .. فإن الـ ULDs كثيرًا ما تتعرض للأضرار؛ مما يتطلب التعامل معها برفق.

وتوجد فئتان من الـ ULDs، هما: بالتات الطائرات aircraft pallets، وحاويات الطائرات aircraft containers. تكون باليتات الطائرات عبارة عن شرائح من الألومنيوم بسمك ٥مم ويتم رص عبوات المنتج عليها بحيث لا تتعدى حوافها. أما حاويات الطائرات فإنها تصمم لتشغل الكونتور الداخلى للطائرة، وهى كذلك تصنع من مواد خفيفة الوزن.

كذلك يمكن أن يتم النقل الجوى فى حاويات عادية بطول ٢٠ أو ٤٠ قدم توضع كاملة داخل الطائرة مع عدم تشغيل وحدات التبريد فيها طوال الرحلة، يمكن أن تتسع الـ Boeing 747F لخمس حاويات ٤٠ قدم (٢٤٣.٨ سم × ١٢١٩.٢سم)، و ١٠ حاويات ١٠ أقدام (٢٤٣.٨سم × ٣٠٤.٨سم)، أو تتسع لثلاث عشرة حاوية ٢٠ قدم (٢٤٣.٨سم × ٢٠٩.٦سم) و ٤ حاويات ١٠ أقدام (٢٤٣.٨سم × ٣٠٤.٨سم)، أو تتسع لثمان وعشرين بالتة طائرات (٢٤٣.٨سم × ٣١٧.٥سم). وبمجرد هبوط الطائرة يتم نقل الحاويات إلى سيارات النقل مع تشغيل وحدات التبريد فيها.

هذا .. ويتم ضبط الضغط داخل مخزن البضاعة فى الطائرة مثل كابينات الركاب. وفى الارتفاعات الكبيرة يمكن أن تنخفض الحرارة خارج الطائرة إلى -٥٥°م، بينما يُحافظ على الحرارة داخل مخزن البضاعة بين ١٥، و ٢٥°م، وإن كان من الممكن فى بعض طائرات الشحن خفض الحرارة حتى ٧°م. ويفيد تغليف حمولة الباليتات بغشاء بلاستيكى فى الحد من الفقد الرطوبى أثناء الرحلة.

ويستعان أحيانًا بالثلج الجاف (ثانى أكسيد الكربون المتجمد) لأجل المحافظة على برودة المنتجات خلال رحلة الشحن الجوى. ويجب إخطار المسئول عن الرحلة الجوية بوجود الثلج الجاف مع الشحنة لما ما قد يشكله ثانى أكسيد الكربون من خطورة على شاغلى الطائرة. كذلك قد يستعمل – لأجل استمرار التبريد خلال الرحلة – "باكتات" من جل يوتكتك eutectic gel متجمد، وهو الذى ينصهر فى حرارة شديدة الانخفاض.

ينقضى – عادة – نحو ٧٠٪ من وقت الشحنات الجوية (من وقت الوصول إلى مطار الإقلاع إلى وقت مغادرة مطار الوصول) فى أرض المطارات انتظارًا للتحميل أو للتفريغ والفحص.

ويمكن أن تتعرض المنتجات السريعة التلف لأضرار كبيرة خلال تلك الفترة، الأمر الذى يتطلب مراعاة ما يلى:

١– تبريد المنتَج أوليًا إلى الحرارة المرغوب فيها قبل الشحن.

٢– نقل المنتَج إلى المطار فى وسائل نقل مبردة.

٣– نقل كراتين المنتَج إلى بالتات الطائرة أو حاويات الطائرات فى حرارة متحكم فيها.

٤– رص كراتين المنتج فى الـ ULD دون ترك أى فراغات بينها.

٥– إذا لم تتوفر مخازن مبردة فى المطار تجب حماية المنتج تحت غطاء واق من أشعة الشمس والمطر.

٦– تستعمل حاويات طائرات بها عزل ما أمكن ذلك، أو تغطية البالتات بغطاء عازل.

٧– يستخدم مسجل لدرجة الحرارة بحيث يمكن قراءة التغيرات الحرارية التى تعرض لها المنتج أثناء الرحلة.

٨– تستخدم رحلة جوية واحدة مباشرة لتجنب نقل المنتج من طائرة لأخرى.

٩– يتم اختيار رحلة تصل فى وقت مناسب من يوم مناسب من الأسبوع لأجل نقل المنتج إلى السوق مباشرة.

١٠– عمل ترتيبات الجمارك والحجز الزراعى مقدمًا للحد من تأخير تلك الإجراءات.

١١– نقل الشحنة سريعًا بعد وصول الطائرة إلى وسيلة نقل بها نظام تحكم حراري، ومنها إلى الأسواق أو إلى مخزن مبرد إن كان النقل المباشر للسوق مستحيلاً (Hui وآخرون ٢٠٠٣).

مراجع مختارة

نعرض — فيما يلى — قائمة مختارة من بعض المراجع العامة التى تهم المشتغلين بتداول وتخزين وتكنولوجيا وفسيولوجيا بعد الحصاد فى الحاصلات البستانية.

المؤلف والسنة	الموضوع
Lipton (١٩٧٥)	التخزين فى الجو المعدل
Wills وآخرون (١٩٨١)	الخضر والفاكهة: تداول وفسيولوجيا بعد الحصاد
Dennis ١٩٨٣)	أمراض ما بعد الحصاد
Salunkhe & Desai (١٩٨٤أ ، ب)	شامل
Kader وآخرون (١٩٨٥)	المحاصيل البستانية: عام وشامل
Lougheed (١٩٨٧)	الأمراض الفسيولوجية التى تسببها غازات الإثيلين، والأكسجين، وثانى أكسيد الكربون أثناء التخزين
Lipton (١٩٨٧)	الشيخوخة فى الخضر الورقية
Boyette وآخرون (١٩٨٩)	عمليات التبريد الأوَّلى والتداول بعد الحصاد
Boyette وآخرون (١٩٩١)	تصميم غرف التبريد واحتياجاتها من الطاقة
Klein & Lurie (١٩٩٢)	المعاملات الحرارية السابقة للتخزين
Shewfelt & Prussia (١٩٩٣)	عمليات التداول بعد الحصاد
Amer. Soc. Hort. Sci (١٩٩٤	المعاملات السابقة للتخزين للحد من الإصابات المرضية
Wang (١٩٩٤)	أضرار البرودة
Amer. Soc. Hort. Sci (١٩٩٥)	تداول وفسيولوجيا المنتجات المصنعة جزئيًا
Thompson (١٩٩٨)	تخزين الخضر والفاكهة فى الجو المتحكم فى مكوناته
Wills وآخرون (١٩٩٨)	فسيولوجيا وتداول منتجات الخضر والفاكهة والزينة بعد الحصاد
Vincent وآخرون (٢٠٠١)	الوسائل الفيزيائية لمكافحة أمراض وآفات المنتجات الطازجة بعد الحصاد
Dris وآخرون (٢٠٠١)	جودة المحاصيل البستانية قبل الحصاد وبعده
Lamikanra (٢٠٠٢)	الخضر والفاكهة الطازجة السابقة التجهيز للمستهلك .. شامل

المؤلف والسنة	الموضوع
Hurst (٢٠٠٢)	عرض لكل جوانب الأمان فى منتجات الخضر والفاكهة السابقة التجهيز للمستهلك يتضمن كلاً من الـ HACCP، والـ GAP، والـ SOP، والـ GMS، والـ SSOP
Knee (٢٠٠٢)	صفات جودة الثمار (الفاكهة بصفة أساسية) وأساسها البيولوجى
Golob وآخرون (٢٠٠٢)	أساسيات وتطبيقات علم وتكنولوجيا بعد حصاد المحاصيل
Bartz & Brecht (٢٠٠٣)	فسيولوجى وأمراض الخضر بعد الحصاد
Chakraverty وآخرون (٢٠٠٣)	تقنيات بعد الحصاد لمختلف المنتجات البستانية والحقلية
Thompson (٢٠٠٣)	الأساسيات وطرق حصاد وتداول وتخزين مختلف محاصيل الخضر والفاكهة كل على حدة
Burg (٢٠٠٤)	ظروف التخزين تحت ضغط منخفض، وتأثير ذلك على فسيولوجيا المنتجات والإصابات المرضية والحشرية
Brecht وآخرون (٢٠٠٤)	الخضر والفاكهة السابقة التجهيز وتداولها
USDA (٢٠٠٤)	كافة ظروف التخزين
Mahovic وآخرون (٢٠٠٦)	الخضر والفاكهة السابقة التجهيز وتداولها

مصادر الكتاب

الإدارة العامة للتدريب -وزارة الزراعة -جمهورية مصر العربية (١٩٨٣). إنتاج الخضر وتسويقها .القاهرة — ٤٢٢ - صفحة

مرسى، مصطفى على، ومحمد كمال الهباشة، ونعمت عبدالعزيز نور الدين (١٩٧٣). البصل .مكتبة الأنجلو المصرية — ٣١٩ — صفحة.

Abbott, J. A. and F. R. Harker. 2004. Texture. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Adamicki, F. 1997. Effect of ultra low oxygen on the storage and quality of some vegetables. Postharvest Horticulture Series-Department of Pomology, University of California No. 18: 26-33.

Afek, U., N. Aharoni, and S. Carmeli. 1995. Increasing celery resistance to pathogens during storage and reducing high-risk psoralen concentration by treatment with GA_3. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(4): 562-565.

Aharoni, Y., A. Apelbaum, and A. Copel. 1986. Use of reduced atmospheric pressure for control of the green peach aphid on harvested head lettuce. HortSience 21: 469.

American Society for Horticultural Science. 1969. Mechanized growing and harvesting of fruit and vegetable crops. HortScience 4: 229-241.

American Society for Horticultural Science. 1994. Management of posthavest disease resistance in horticultural crops. HortScience 29(7): 745-768.

American Society for Horticultural Science. 1995. Lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30(1): 13-40.

Archbold, D. D., T. R. Hamilton-Kemp, B. E. Langlois, and M. M. Barth. 1997. Natural volatile compounds control *Botrytis* on strawberry fruit. Acta Hort. No. 439(II): 923-930.

Artés, F., P. Gómez, E. Aguaya, V. Escalona, and F. Artés-Hernández. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. Postharvest Biol. Technol. 51(3): 287-296.

Arul, J., J. Mercier, M. T. Charles, M. Baka, and R. Maharaj. 2001. Photochemical treatment for control of postharvest diseases in horticultural crops, pp. 146-161. In: C. Vincent, B. Panneton, and F. Fleurat-Lessard (eds). Physical control methods in plant protection. Springer-Verlag, Berlin.

Bachmann, J. and R. Earles. 2000. Postharvest handlingof fruits and vegetables. ATTRA Pub. No. IP116. 19. p. The Internet.

Baldwin, E. A. 2003. Coatings and other supplemental treatments to maintain vegetable quality, pp. 413-433. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker. Inc., NY.

Baldwin, E. 2004. Ethylene and postharvest commodities. HortScience 39(7): 1538-1540.

Baldwin, E. A. 2004. Flavor. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Bartz, J. A. and J. K. Brecht (eds). 2003. Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY. 733 p.

Beaudry, R. M. 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging HortTechnology 10(3): 491-500.

Beaulieu, J. C. and M. E. Saltveit. 1997. Inhibition or promotion of tomato fruit ripening by acetaldehyde and ethanol is concentration dependent and varies with initial fruit maturity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122(3): 392-398.

Behrsing, J., S. Winkler, P. Franz, and R. Premier. 2000. Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables. Postharvest Biology and Technology 19: 187-192.

Ben-Yehoshua, S. and V. Rodov. 2003. Transpiration and water stress, pp. 111-159. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Bokshi, A. I., S. C. Morris, R. M. McConchie, and B. J. Deverall. 2006. Preharvest application of 2,6-dichloroisonicotinic acid, β-aminobutyric acid or benzothiadiazole to control post-harvest storage diseases of melons by inducing systemic acquired resistance (SAR). The J. Hort. Sci. Biotechnol. 81(4): 700-706.

Bower, J. and B. Mitcham. 2001. Application of 1-MCP to vegetable crops. Preishables Handling Quarterly No. 108: 26-27.

Boyette, M. D. and E. A. Estes. 1992. Crushed ice and liquid ice. N.C. State University, N.C. Agric. Ext. Serv. AG-414-5. The Internet.

Boyette, M. D., L. G. Wilson, and E. A. Estes. 1989. Forced-air cooling. N.C. State University, N. C. Agric. Ext. Serv. Ag-414-3. The Internet.

Boyette, M. D., L. G. Wilson, and E. A. Estes. 1989. Introduction to proper postharvest cooling and handling methods. N. C. State University, N. C. Coop. Ext. Service. AG. 414-1. The Internet.

Boyette, M. D., L. G. Wilson, and E. A. Estes. 1991. Design of room cooling facilities: structural & energy requirements. N. C. State University, N.C. Coop.Ext. Service. Ag. 414-2. The Internet.

Boyette, M. D., E. A. Estes, and A. R. Rubin. 1992. Hydrocooling. N. C. State University, N. C. Agric. Ext. Serv. Ag-414-4. The Internet.

Boyette, M. D., D. F. Ritchie, S. J. Carballo, S. M. Blankenship, and D.C. Sanders. 1993. Chlorination and postharvest disease control. N. C. State University, N. C. Coop. Ext. Serv. Ag-414-6. The Internet.

Boyette, M. D., D. C. Sanders, and G. A. Rutledge. 1996. Packaging requirements for fresh fruits and vegetables. N. C. State University, N. C. Agric. Ext. Serv. Ag-414-8. The Internet.

Brackett, R. E. 1993. Microbial quality, pp. 125-148. In: R. L. Shewfelt and S. E. Prussia (eds.). Postharvest handling: a systems approach. Academic Press, San Diego, California.

Brecht, J. K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30(1): 18-22.

Brecht, J. K. 2003. Harvesting and handling techniques, pp. 383-412. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds.). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, NY.

Brecht, J. K. 2003. Underground storage organs, pp. 625-647. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Brecht, J. K., A. U. O. Sabaa-Srur, S. A. Sargent, and R. J. Bender. 1993. Hypochlorite inhibition of enzymic browning of cut vegetables and fruit. Acta Hort. No. 343: 341-344.

Brecht, J. K., M. E. Saltveit, S. T. Talcott, K. R. Schneider, K. Felkey, and J. A. Bartz. 2004. Fresh-cut vegetables and fruits. Hort. Rev. 30: 185-251.

Burg, S. P. 2004. Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce. CABI Publishing, Wallingford, UK. 654 p.

Cabrera, R. M. and M. E. Saltveit, Jr. 1990. Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed frut. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 256-261.

Caccioni, D. R. L. and M. Guizzardi. 1994. Inhibition of germination and growth of fruit and vegetable postharvest pathogenic fungi by essential oil components. J. Essential Oil Res. 6(2): 173-179.

Cantwell, M. 1998. Translucency in melon: another example of cutting damage and the need for very sharp knives. Perishables Handling Quarterly No. 96: 4.

Cantwell, M., E. N. Aquino, and E. Mercado. 1998. Fresh-cut products from chilling sensitive commodities. Preishables Handling Quarterly No. 96: 7.

Castoria, R., L. Caputo, F. de Curtis, and V. de Cicco. 2003. Resistance of postharvest biocontrol yeasts to oxidative stresses: a possible new mechanism of action. Phytopathology 93: 564-572.

Chakraverty, A., A. S. Mujumdar, G. S. vijaya Raghavan, and H. S. Ramaswamy (eds). 2003. Handbook of posthervest technology. Marcel Dekker, Inc., NY. 884 p.

Chardonnet, C. and B. Doneche. 1995. Influence of calcium pretreatment on pectic substance evolution in cucumber fruit (*Cucumis sativus*) during *Botrytis cinerea* infection. Phytoparasitica 23(4): 335-344.

Claypool, L.L., L.L. Morris, W. T. Pentzer, and W.P. Barger. 1958. Air transportation of fruits, vegetables and cut flowers: temperature and humidity requirements and preishable nature. U.S. Dept. Agric., Marketing Service Rep. 280. 27 p.

Conway, W.S., C.E. Sams, and A. Kelman. 1994. Enhancing the natural resistance of plant tissues to postharvest diseases through calcium applications. HortScience 29(7): 751-754.

Coté, F., J. E. Thompson, and C. Willemot. 1993. Limitation to the use of electrolyte leakage for measurement of chilling injury in tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 3(2): 103-110.

Covington, H.M., D.T. Pope, H. Garris, L. W. Nielson, W. C. White, H. E. Scott, C. Brett and G. Abshier. 1959. Grow quality sweet potatoes. N. C. Agric. Ext. Serv., Ext. Circ. 353. 28 p.

Da Rocha, A. B. and R. Hammerschmidt. 2005. History and perspectives on the use of disease resistance inducers in horticultural crops. HortTechnology 15(3): 518-529.

De Lima, G. S., I. P. Assuncao, and S. M. A. de Oliveira. 1998. Effect of treatment of melon fruits (*Cucumis melo* L.) with different calcium sources on rot caused by *Myrothecium roridum*. (In portuguse with English Summary). Summa Phytopathologica 24(3/4): 276-279.

Dennis, C. 1983. Post-harvest pathology of fruits and vegetables. Academic Pr., N.Y. 264 p.

Dris, R., R. Niskanen, and S. M. Jain (eds). 2001. Crop management and postharvest handing of horticultural products. Vol.1. Quality management. Science Publishers, Inc., Enfield, NH, USA. 364 p.

Dufault, R. J. et al. 1989. Determination of heat unit requirements for collard harvest in the Southeastern United States. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(6): 898-903.

Edmond, J.B., T.L. Senn, F. S. Andrews, and R. G. Halfacre. 1975 (4th ed.). Fundamentals of horticulture. McGraw-Hill Book Co., N.Y. 569 p.

Edmunds, B. A. et al. 2008. Postharvest handling of sweet potatoes. North Carolina Cooperative Extension service. The Internet.

Ester, A. and R. Trul. 2000. Slug damage and control of field slug [*Deroceras reticulatum* (Müller)] by carvone in stored potatoes. Potato Research 43: 253-261.

Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). Postharvest Biology and Technology 32: 125-134.

Fallik, E., J. Klein, S. Grinberg, E. Lomaniec, S. Lurie, and A. Lalazar. 1993. Effect of postharvest heat treatment of tomatoes on fruit ripening and decay caused by *Botrytis cinerea*. Plant Disease 77(10): 985-988.

Fallik, E, N. Temkin-Gorodeiski, S. Grinberg, I. Rosenberger, B. Shapiro, and A. Apelbaum. 1994. Bulk packaging for the maintenance of eggplant quality in storage. Journal of Horticultural Science 69(1): 131-135.

Fallik, E., S. Grinberg, S. Alkalai, and S. Lurie. 1996. The effectiveness of postharvest hot water dipping on the control of grey and black moulds in sweet red pepper (*Capsicum annuum*). Plant Pathology 45(4): 644-649.

Fallik, E., D. D. Archbold, T. R. Hamilton-Kemp, A. M. Clements, R. W. Collins, and M. M. Barth. 1998. (E)-2-hexenal can stimulate *Botrytis cinerea* growth in vitro and on strawberries in vivo during storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(5): 875-881.

Fallik, E., V. Rodov, B. Horev, S. Sela, S. Alkalai-Tuvia, and Y. Vinokur. 2007. Hot water rinsing and brushing technology for the fresh-cut industry. Acta Hort. 746: 229-236.

Feng, W. and X. Zheng. 2007. Essential oils to control *Alternaria alternata in vitro* and *in vivo*. Food Control 18(9): 1126-1130.

Ferguson, I. B., S. Ben-Yehoshua, E. J. Mitcham, R. E. McDonald, and S. Lurie. 2000. Postharvest heat treatments: introduction and workshop summary. Postharvest Biology and Technology 21: 1-6.

Fordham, R. and A. G. Biggs. 1985. Principles of vegetable crop production. Collins Professional and Technical Books, London. 215 p.

Forney, C.F. 1995. Hort-water dips extend the shelf life of fresh broccoli. HortScience 30 (5): 1054-1057.

GAP, Good Agricultural Practices. 2008. A self-audit for growers and handlers. The Internet. 54 p.

Garcia, E. and D. M. Barrett. 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables, pp. 267-303. In: O. Lamikanra (ed.). Fresh-cut fruits and

vegetables: science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London.

Glancey, J. L., E. Kee, and T. Wootten. 2005. Technical advances and strategies for future developments in mechanization. HortTechnology 15(3): 486-488.

Golob, P., G. Farrell, and J. E. Orchard (eds.). 2002. Crop post-harvest: Science and technology. Vol. 1. Princples and practice. Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA.

Gorny, J. R. 1997. Modified atmospheres packaging and the fresh-cut revolution. Preishables Handling Newsletter No. 90: 4-5.

Gorny, J.R. 2001. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. pp 95-145. Postharvest Horticulture Series No. 22A, University of California, Davis.

Gorny, J. R. and D. Zagory. 2004. Food safety. In: ARC, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Grierson, W. and W. F. Wardowski. 1975. Humidity in horticulture. HortScience 10: 356-360.

Grosch, D.S. 1965. Biological effects of radiations. Blaisdell Pub. Co., N.Y. 293 p.

Hale, M. G. and D. M. Orcutt. 1987. The physiology of under stress. John Wiley & Sons, N.Y. 206 p.

Halfacre, R.G. and J.A. Barden. 1979. Horticulture. McGraw-Hill Book Co., N.Y. 722 p.

Hammond, R. M., D. Bodager, K. V. Ward, and A. Rowan. 2001. Case studies in foodborne illness in Florida from fresh produce. HortScience 36(1): 22-25.

Heard, G. M. 2002. Microbiology of fresh-cut produce, pp. 187-248. In: O. Lamikanra (ed.). Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London.

Helbig, J. 2002. Ability of the antagonistic yeast *Cryptococcus albidus* to

control *Botrytis cinerea* in strawberry. Biocontrol 47(1): 85-99.

Hodges, D. M., G. E. Lester, K. D. Munro, and P. M. A. Toivonen. 2004. Oxidative stress: importance for postharvest quality. HortScience 39(5): 924-929.

HortScjence. 1997. Irradiation of horticultural crops at Iowa State University. HortScience 32(4): 582-585.

Hui, C. K. P., C. Vigneault, D. I. Leblanc, J. R. DeEll, and S. A. Sotocinal. 2003. Transportation and handling of fresh fruits and vegetables, pp. 555-584. In: A. Chakraverty, A. S. Mujumdar, G. S. Vijaya Rghavan, and H. S. Ramaswany (eds). Handbook of postharvest technology. Marcel Dekker, Inc., NY.

Hurst, W.C. 1995. Sanitation of lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30(1): 22-24.

Hurst, W. C. 2002. Safety aspects of fresh-cut fruits and vegetables, pp. 45-90. In: O. Lamikanra (ed.). Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London.

Hurst, W. C. 2007. Quality assurance and safety consideration for fresh-cut produce. Acta Hort. 746: 115-122.

Isenberg, F.M.R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Hort. Rev. 1: 337-394.

Isenberg, F.M. and R.M. Sayles. 1969. Modified atmosphere storage of Danish cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 444-449.

Janoudi, A. and J. A. Flore. 2003. Effects of multiple applications of methyl jasmonate on fruit ripening, leaf gas exchange and vegetative growth in fruit trees. J. Hort. Sci. Biotechnol. 78: 793-797.

Jobling, J. 2007a Modified atmosphere packaging: not simple as it seems. Sydney Postharvest Laboratory. Information Sheet. The Internet.

Jobling, J. 2007b. Correct cool chain management is essential for all fruit and vegetables. Sydney Postharvest Laboratory. Information Sheet. The Internet.

Jones, R.B. 2007. Effects of postharvest handling conditions and cooking on anthocyanin, lycopene and glncosinolate content and bioavailability in fruits and vegetables. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 35: 219-227.

Kader, A. A. 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. HortScience 20(1): 54-57.

Kader, A. A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Food Technology 40(6): 117-121.

Kader, A. A. 1996. Maturity, ripening, and quality relationships of fruit-vegetables. Acta Hort. 434: 249-255.

Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Hort. 485: 203-208.

Kader, A. A. 2001. A summary of CA requirments and recommendations for fruits other than apples and pears, pp. 29-70. Postharvest Horticulture Series No. 22A, University of California, Davis.

Kader, A. A. 2004. Controlled atmosphere storage. In: ARS, USDA Agri. Handbook 66 revised. The Internet.

Kader, A. A. and S. Ben-yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 20: 1-13.

Kader, A. A. and R. F. Kasmire. 1984. Effects of ethylene on horticultural commodities during postharvest handling. In: 1984 Produce Markating Alamanc Supplement, pp. 5-7.

Kader, A. A. and M. E. Saltveit. 2003. Respiration and gas exchange, pp. 7-29. In: J. A. Bartz and K. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Kader, A. A. and C. B. Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging – toward 2000 and beyond. HortTechnology 10(3): 483-486.

Kader, A.A., R. F. Kasmire, F.G. Mitchell, M. S. Reid, N.F. Sommer and J.F. Thompson. 1985. Postharvest technology of horticultural crops. Univ. Calif., Div. Agric. Natural Resources. 192 p.

Kader, A. A., D. Zagory, and E. L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging for fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 28(1): 1-30.

Ke, D. and A. A. Kader. 1992. Potential of Controlled atmospheres for

postharvest insect disinfestations of fruits and vegetables. Posthorvest News and Information 3(2): 31N-37N.

Klein, J.D. and S. Lurie. 1992. Heat treatment for improved postharvest quality of horticultural crops. HortTechnology 2: 316-320.

Kim, M. A. and S. J. Choi. 2002. Induction of gray mold rot resistance by methyl salicylate application in strawberry fruits. (In Korean with English summary). J. Korean Soc. Hort. Sci. 43(1): 29-33. c. a. Hort. Abstr. 72(9): Abstr. 8049; 2002).

Knee, M. (ed.). 2002. Fruit quality and its biological basis. Shelfield Academic Press Ltd, Shelfield, UK. 279 p.

Knee, M. and D. Aggarwal. 2000. Evaluation of vacuum containers for consumer storage of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 19: 55-60.

Ku, V. V. V, R. B. H. Wills, and Y. Y. Leshem. 2000. Use of nitric oxide to reduce postharvest water loss from horticultural produce. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75(3): 268-270.

Lamikanra, O. (ed.). 2002. Fresh-cut friuts and vegetables: Science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London. 467 p.

Lange, D. L. 2000. New film technologies for horticultural products. HortTechnology 10(3): 487-490.

Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology 20: 207-220.

Lemoine, M. L., P. M. Civello, G. A. Martinez, and A. R. Chaves. 2007. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* for *italica*). J. Sci. Food Agr. 87(6): 1132-1139.

Leyte, J. C. and C. F. Forney, 1999. Controlled atmosphere tents for storing fresh commodities in conventional refrigerated rooms. HortTechnology 9(4): 672-675.

Liew, C. L. and R. K. Prange. 1994. Effect of ozone and storage temperature on

postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(3): 563-567.

Lipton. W. J. 1977. Compatibility of fruits and vegetables during transport in mixed loads. U.S. Dept. Agric., Agric. Res. Sev., Market. Res. Report No. 1070. 7 p.

Lipton, W.J. 1978. Senescence of leafy vegetables. HortScience 22: 854-859.

Liu,. C. L. and B. H. Chiang. 2000. Formulation of humidity-controling agents for food packaging. Food Sci. Agr. Chem. 2(2): 90-95.

Lorenz, O.A. 1969. The mechanized growing and harvesting of vegetable crops in the west. HortScience 4: 238-239.

Lorenz O.A. and D.N. Maynard. 1980. (2nd ed.). Knott's handbook for vegetable growers. Wiley-Interscience, N.Y. 390 p.

Lorenz, O.A. and K.B. Tyler. 1983. Plant tissue analysis of vegetable crops. *In* H.M. Reisenauer (ed.) "Soil and Plant-Tissue Testing in California"; pp. 24-29. Div. Agric. Sci. Bull. 1879.

Lougheed, E.C. 1987. Interactions of oxygen, carbon dioxide, temperature, and ethylene that may induce injuries in vegetables. HortScience 22: 791-794.

Luna-Guzmán, I. and D.M. Barrett. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. Postharvest Biol. Technol. 19: 61-72.

Luna-Guzmán, I., M. I. Cantwell, and D. M. Barrett. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of $CaCl_2$ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. Postharvest Biology and Technology 17: 201-213.

Lund, B. M. 1983. Bacterial spoilage. In: C. Dennis (ed.)., pp. 219-264. Post-harvest pathology of fruits and vegetables. Academic Press, N. Y.

Lurie, S. and J. D. Klein. 2004. Temperature preconditioning. In: ARS, USDA Agric Handbook 66 revised. The Internet.

Lurie, S., R. Ronen, and B. Aloni. 1995. Growth-regulator-induced alleviation of chilling injury in green and red bell pepper fruit during storage. HortScience 30(3): 558-559.

Lutz, J. M. and R. E. Hardenburg. 1968. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U. S. Dept. Agric.. Agric. Handbook No. 66. 94 p.

Mahovic, M., J. Brecht, S. Sargent, M. Ritenour, K. Schneider, A. Simonne, and J. Bartz. 2006. Fresh produce handling, sanitation, and safety measures: beans, cucumbers, eggplants, squash, peppers, and sweetcorn. University of Florida, IFAS Extension. The Internet.

Maness, N. and P. Perkins-Veazie. 2003. Soluble and storage carbohydrates, pp. 361-382. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., N. Y.

Mari, M., M. Guizzardi, M. Brunelli, and A. Folchi 1996. Postharvest biological control of grey mould (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.) on fresh-market tomatoes with *Bacillus amyloliquefaciens*. Crop Protection 15(8): 699-705.

Mattheis, J. and J. K. Fellman. 2000. Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. HortTechnology 10(3): 507-510.

McGuire, R. G. and J. L. Sharp. 1995. Market quality of sweepotatoes after gamma-irradiation for weevil control. HortScience 30(5): 1049-1051.

Mednyánszky, Z., A. S. Szabó, and J. Simon. 1994. Effect of synergolux treatment on vegetables during storage. Acta Hort. No. 368: 281-284.

Mercier, J., M. Baka, B. Reddy, R. Corcuff, and J. Arul. 2001. Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in bell pepper: induced resistance and germicidal effects. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126(1): 128-133.

Miller, A. R. 2003. Harvest and handling injury: physiology, biochemistry, and detection, pp. 177-208. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., N.Y.

Mir, N. and R. Beaudry. 2004. Modified atmosphere packaging. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Mohammed, M. and J. K. Brecht. 2003. Immature fruit vegetables, pp. 671-690. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Molloy, C., L. H. Cheah, and J. P. Koolaard. 2004. Induced resistance against *Sclerotinia sclerotiorum* in carrots treated with enzymatically hydrolysed chitosan. Postharvest Biol. Technol. 32: 61-65.

Neeta, S., U. Verma, and P. Awasthi. 2006. A combination of the yeast *Candida utilis* and chitosan fruit rot in tomato caused by *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler and *Geotrichum candidum* Link ex Pers. The J. Hort. Sci. Biotechnol. 81(6): 1052-1056.

Neri, F., M. Mari, and S. Brigati. 2006. Control of *Penicillium expansum* by plant volatile compounds. Plant Pathology 55(1): 100-105.

Ntirampemba, G., B. E. Langlois, D. D. Archbold, T. R. Hamilton-Kemp, and M. M. Barth. 1998. Microbial populations of *Botrytis cinerea*-inoculated strawberry fruit exposed to four volatile compounds. Journal of Food Protection 61(10): 1352-1357.

Oeller, P. W., M. W. Lu, L. P. Taylor, D. A. Pike, and A. Thoelogis. 1991. Reversible inhibition of tomato fruit senescence by antisense RNA. Science (Washington) 254: 437-439.

Ogawa, J. M. and B. T. Manji. 1984. Control of postharvest diseases by chemical and physical means. In H. E. Moline (ed.) "Postharvest Pathology of Fruits and Vegetables: Postharvest Losses in Perishable Crops"; pp. 55-66. Univ. Calif., Div. Agric. Natural Resources. Bull. No. 1914. 80 p.

Okigbo, R. N., and F. E. O. Ikediugwu. 2000. Studies on biological control of postharvest rot in yams (*Discorea* spp.) using *Trichoderma viride*. J. Phytopathol. 148(6): 351-355.

Pariasca, J. A. T., T. Miyazaki, H. Hisaka, H. Nakagawa, and T. Sato. 2000. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). Postharvest Biology and Technology 21: 213-223.

Parsons, C. S., R. E. Anderson, and R. W. Penney. 1970. Storage of mature-green tomatoes in controlled atmospheres. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 791-794.

Paull, R. E. and N. J. Chen. 2000. Heat treatment and fruit ripening. Postharvest Biology and Technology 21: 21-37.

Pech, J. C., M. Bouzayen, and A. Latché. 2008. Climacteric fruit ripening: ethylene-dependent and independent regulation of ripening pathways in melon fruit. Plant Science 175(1-2): 114-120.

Pérez, A. G., C. Sanz, R. Olias, and J. M. Olias 1997. Effect of methyl jasmonate on *in vitro* strawberry ripening. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45(10): 3733-3737.

Perry, K. B. and T. C. Wehner. 1996. A heat unit accumulation method for predicting cucumber harvest date. HortTechnology 6(1): 27-30.

Plotto, A., D. D. Roberts, and R. G. Roberts. 2003. Evaluation of plant essential oils as natural postharvest disease control of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Acta Hort. No. 628: 737-745.

Podd, L. A. and J. van Staden. 1998. The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening – a review. Plant Growth Regulation 26(3): 183-189.

Portela, S. I. and M. I. Cantwell. 2001. cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. Journal of Food Science 66(9): 1265-1270.

Prekins-Veazie, P. and J. K. Collins. 1995. Strawberry fruit quality and its maintenance in postharvest environments. Adv. Strawberry Res. 14: 1-8.

Qadir, A. and F. Hashinaga. 2001. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide. Postharvest Biology and Technology 22: 279-283.

Qin, G. Z. and S. P. Tian. 2005. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. Phytopathology 95: 69-75.

Ranganna, B., A. C. Kushalappa, and G. S. V. Raghavan. 1997. Ultraviolet irradiance to control dry rot and soft rot of potato in storage. Canad. J. Plant Pathol. 19(1): 30-35.

Reddy, M. V. B., P. Angers, F. Gastaigne, and J. Arul. 2000. Chitosan effects on blackmold rot and pathogenic factors produced by *Alternaria alternata* in postharvest tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125(6): 742-747.

Rennie, T. J., C. Vigneault, J. R. DeEll, and G. S. Vijaya Raghavan. 2003.

Cooling and storage. In: A. Chakraverty, A. S. Mujumdar, G. S. Vijaya Raghavan, and H. S. Ramaswamy (eds). Handbook of postharvest technology. Marcel Dekker, Inc., NY.

Ritenour, M. A., S. A. Sargent, and J. A. Bartz. 2002. Chlorine use in produce packing lines. University of Florida, IFAS Extension. The Internet.

Romanazzi, G., F. Nigro, A. Ippolito, and M. Salerno. 2001. Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grapes. Postharvest Biology and Technology 22: 1-6.

Rushing, J. W. 1988. Physiological basis for the extension of shelf life of pre-packaged broccoli florets by ethylene. (Abstr.). HortScience 23: 826.

Sadif-Zouaoui, N., et al. 2008. Ability of moderately halophilic bacteria to control grey mould disease on tomato fruits. J. Phytopathol. 156(1): 42-52.

Saltveit, M. E. 1998. Heat-shock and fresh cut lettuce. Perishables Handling Quarterly Issue No. 95: 5-6.

Saltveit, M. E. 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. Postharvest Biology and Technology 21: 61-69.

Saltveit, M. E. 2003. Fresh-cut vegetables. pp. 691-712. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Saltveit, M. E. 2003. Mature fruit vegetables, pp. 649-669. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Saltveit, M. E. 2003. Temperature extremes, pp. 457-483. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker Inc., NY.

Saltveit, M. E. 2004a. Respiratory metabolism. In: ARC, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Saltveit, M. E. 2004b. Ethylene effects. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Salunkhe, D. K. and B. B. Desai. 1984a. Postharvest biotechnology of vegetables. Vol. I. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 208 p.

Salunkhe, D. K. and B. B. Desai. 1984b. Postharvest biotechnology of vegetables. Vol. II. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 194 p.

Schirra,. M., G. D'hallewin, S. Ben-Yehoshua, and E. Fallik. 2000. Host-pathogen interactions modulated by heat treatment. Postharvest Biology and Technology 21: 71-85.

Schisler, D. A., P. J. Slininger, G. Kleinkopf, R. J. Bothast, and R. C. Ostrowski. 2000. Biological control of Fusarium dry rot of potato tubers under commercial storage conditions. Amer. J. Potato Res. 77(1): 29-40.

Schlimme, D. V. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30(1): 15-17.

Sherman, M. 1985. Control of ethylene in the postharvest environment. HortScience 20: 57-60.

Shewfelt, R. L. 2003. Color, pp. 287-296. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Sholberg. P. L. and A. P. Gaunce. 1995. Fumigation of fruit with acetic acid to prevent postharvest decay. HortScience 30(6): 1271-1275.

Smid, E. J., L. Hendriks, H. A. M. Boerrigter, and L. G. M. Gorris. 1996. Surface disinfection of tomatoes using the natural plant compound trans-cinnamaldehyde. Postharvest Biology and Technology 9(3): 343-350.

Smilanick, J. L., I. F. Michael, M. F. Mansour, B. E. Mackey, D. A. Margosan, D. Flores. and C. F. Weist. 1997. Improved control of green mold of citrus with imazalil in warm water compared with its use in wax. Plant Dis. 81: 1299-1304.

Smith, J. P., H. S. Ramaswamy, and G. S. Vijaya Raghavan. 2003. Packaging of fruits and vegetables. pp. 539-553,. In: A. Chakraverty, A. S. Mujumdar, G. S. Vijaya Raghavan, and H. S. Ramaswany (eds). Handbook of postharvest technology. Marcel Dekker, Inc., NY.

Smith, A. C., K. W. Waldron, N. Maness, and P. Perkins-Veazie. 2003. Vegetable texture: measurement and structural implications, pp. 297-329. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Snowdon, A. L. 1990. Post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables. Vol. 1: General introduction and fruits. Wolfe Scientific Ltd. London. 302 p.

Srivastava, L. M. 2002. Plant growth and development: hormones and environment. Academic Press, San Diego, California. 772 p.

Stevens, C. et al. 1999. Induced resistance of sweet potato to fusarium root rot by UV-C rays. Crop Protection 18(7): 463-470.

Stewart, J. K. and H. M. Couey. 1963. Hydrocooling vegetables: a practical guide to prediciting final temperatures and cooling times. U.S. Dept. Agric. Mark. Res. Rep. 637. 32 p.

Studer, H. E. 1983. Influnce of mechanical harvesting on the quality of fruit vegetables. HortScience 18: 417-421.

Sun, D. W. 1999. Comparison of rapid vacuum cooling of leafy and non-leafy vegetables. In: ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July, 1999. American Society of Agricultural Engineers (ASAE), St Joseph, USA.

Suslow, T. 2000. Postharvest handling for organic crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Pub. 7254. 8 p.

Suslow, T. 2008. Chlorination in the production and postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Fruit and vegetable processing. The Internet.

Talbot, M. T. and D. Baird. 2002. Psychrometrics and postharvest operations. University of Florida, IFAS, CIR1097. The Internet.

Tator, R. 1997. Developing the cold chain for horticultural Exports. RONCO/ATUT-USAID Project, Egypt. ATUT Pub. No. 8.

Terry, L. A. and D. C. Joyce. 2004. Elicitors of induced disease resistence in postharvest horticultural crops: a brief review. Postharvest Biology and Technology 32: 1-13.

Thompson, A. K. 1998. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. CAB International, Wallingford, UK. 278 p.

Thompson, J. 1998. Strengthing weak links in the cold chain. Perishables Handling Quarterly No. 94: 4-6.

Thompson, A. K. 2003. Fruit and vegetables. Harvesting, handling, and storage. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 460 p.

Thompson, J. F. 2004. Pre-cooling and storage facilities. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Thompson, J. F. and A. A. Kader. 2004. Wholesale distribution center storage. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Thompson, H. C. and W. C. Kelly. 1957. Vegetables crops. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 611 p.

Thompson, J., A. Kader, and K. Sylva. 2007. Compatibility chart for fruits and vegetables in short-term transport or storage. University of California, Davis, Postharvest Technology Research Information Center.

Toivonen, P. M. A. and D. A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. Postharvest Biol. Technol. 48(1): 1-14.

Toivonen, P. M. A. and J. R. DeEll. 2002. Physiology of fresh-cut fruits and vegetables, pp. 91-123. In: O. Lamikanra (ed.). Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London.

Tripathi, P. and N. K. Dubey. 2004. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology 32: 235-245.

Tzortzakis, N. G. 2007. Methyl jasmonate-induced suppression of anthracnose rot in tomato fruit. Crop Protection 26(10): 1507-1513.

Tzortzakis, N., I. Singleton, and J. Barnes. 2008. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 47(1): 1-9.

USDA, United States Department of Agriculture. 2004. The commercial storage

of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agricultural Research Service, USDA. Agriculture Handbook 66 revised. The Internet.

Vandekinderen, I., J. van Camp, B. de Meulenaer, K. Veramme, Q. Denon, P. Ragaert, and F. Devlieghere. 2007. The effect of the decontamination process on the microbial and nutritional quality of fresh-cut vegetables. Acta Hort. 746: 173-180.

Vandekibderen, J., F. Devlieghere, B. de Meulenaer, K. Veramme, P. Ragaert, and J. van Camp. 2008. Impact of decontamination agents and a packaging delay on the respiration rate of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology 49(2): 277-282.

Varoquaux, P. and J. Mazollier. 2002, Overview of the European fresh-cut produce industry, pp. 21-43. In: O. Lamikanra (ed.). Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market. CRC Press, Boca Raton, London.

Vincent, C., B. Panneton, and F. Fleurat-Lessard (eds). 2001. Physical control methods in plant protection. Springer-Verlag, Berlin. 329 p.

Voss, R. E. (ed). 1979. Onion production in California. Univ. Calif., Div. Agric. Sci. Priced Pub. No. 4097. 49 p.

VRIC, Vegetable Research & Information Center. 2007. Postharvest handling systems: fruit vegetables. Postharvest Technology, UC DANR Pub. 3311, 6 p.

Wang, C. Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. HortScience 29(9): 986-988.

Wang, C. Y. 1994. Combined treatment of heat shock and low temperature conditioning reduces chilling injury in zucchini squash. Postharvest Biology and Technology 4(1-2): 65-73.

Wang, C. Y. 2003. Leafy, floral, and succulent vegetables, pp. 559-623. In: J. A. Bartz and J. K. Brecht (eds). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., NY.

Wang, C. Y. 2004. Chilling and freezing injury. In: ARS, USDA Agric. Handbook 66 revised. The Internet.

Wang, H., H. Feng, Y. Luo, and A. Zhang. 2007. Produce surface characteristics affect product quality and safety. Acta Hort. 746: 131-138.

Ware, G. W. and J. P. McCollum. 1983. (3rd ed). Producing vegetable crops. The Interstate Printers & Publishers. Inc., Danville, Illinois. 607 p.

Watada, A. E., R. C. Herner. A. A. Kader, R. J. Romani, and G. L. Staby. 1984. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. HortScience 19: 20-21.

Watkins, C. B. 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. HortTechnology 10(3): 501-506.

Watkins, C. B. 2002. Ethylene synthesis, mode of action consequences and control, pp. 180-223. In: M. Knee (ed.). Fruit quality and its biological basis. Shelfield Academic Press Ltd, Shelfield, UK.

Watkins, C. B. 2008. Postharvest ripening regulation and innovation in storage technology. Acta Hort. 796: 51-58.

Weaver. R. J. 1972. Plant growth substances in agriculture. S. Chand & Co. Ltd., New Delhi 594 p.

Wells, J. M. and J. E. Butterfield. 1997. *Salmonella* contamination associated with bacterial soft rot of fresh fruits and vegetables in marketplace. Plant Dis. 81(8): 867-872.

Wheeher, R. M., B. V. Peterson, and G. W. Stutte. 2004. Ethylene production throughout growth and developments of plants. HortScience 39(7): 1541-1545.

Whitaker, B. D. 1994. A reassessment of heat treatment as a means of reducing chilling injury in tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 4(1-2): 75-83.

Wills, R. H. H., T. H. Lee, D. Graham, W. B. McGlasson, and E. G. Hall. 1981. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. The Avi Pub. Co., Inc, Westpot, Conn. 163 p.

Wills, R., B. McGlasson, D. Graham, and D. Joyce. 1998. Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals. CAB International, Wallingford, UK. 262 p.

Wills, R. B. H., V. V. V. Ku, and Y. Y. Leshem. 2000. Fumigation with nitric oxide to extend the postharvest life of strawberries. Postharvest Biology and Technology 18: 75-79.

Wills, R. B. H., P. Pristijono, and J. B. Golding. 2007. Use of nitric oxide to reduce surface browning of fresh cut lettuce and apple slices. Acta Hort. 746: 237-244.

Wilson, C. L. and M. E. Wisniewski. 1989. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: an emerging technology. Ann. Rev. Phytopathol. 27: 425-441.

Wilson, L. G., M. D. Boyette, and E. A. Estes. 1999a. Postharvest handling and cooling of fresh fruits, vegetables and flowers for small farms. Part III. Handling. NC State University, Dept. Hort. Sci., Hort. Inf. Leaffet 802, 2 p,

Wilson, L. G., M. D. Boyette, and E. A. Estes. 1996b. Postharvest handling and cooling of fresh fruits, vegetables and flowers for small farms. Part IV. Mixed loads. N. C. State University, Dept. Hort. Sci., Hort. Inf. Leaffet 803. 2 p,

Woodroof, J. G. 1975. Harvesting, handling and storing vegetables for processing. In B. S. Luh and J. G. Woodroff (eds.). "Commercial Vegetable Processing": pp. 131-175. The Avi Pub. Co., Inc., Westport, Conn.

Yang, B., G. Yonghong, G. Yurong, and Z. Jie. 2007. Postharvest harpin treatment suppresses decay and induces the accumulation of defense related enzymes in hami melons. Acta. Hort. No. 731: 439-450.

Zahara, M. and S. S. Johnson. 1979. Status of harvest mechanization of fruits, nuts and vegetables. HortScience 14: 578-582.

Zhang, D. and P. C. Quantick. 1998. Antifungal effects of chitosan coatings on fresh strawberries and raspberries during storage. J. Hort. Sci. Biotechnol. 73(6): 763-767.

Zhang, Z., D. J. Huber, B. M. Hurr, and J. Rao. 2009. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. Postharvest Biol. Technol. 54(1): 1-8.

Zhao, Y., K. Tu, X. F. Shao, W. Jing, J. L. Yang, and Z. P. Su. 2008. Biological

control of the post-harvest pathogens *Alternaria solani*, *Rhizopus stolonifer* and *Botrytis cinerea* on tomato fruit by *Pichia guilliermondii*. J. Hort. Sci. Biotechnol. 83(1) 132-136.

Zhao, Y., K. Tu, X. Shao, W. Jing, and Z. Su. 2008. Effects of the yeast *Pichia guilliermondii* against *Rhizopus nigricans* on tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 49(1): 113-120.

Zheng, X. L., S. P. Tian, M. J. Gidley, H. Yue, B. Q. Li, Y. Xu, and Z. W. Zhou. 2007. Slowing the deterioration of mango fruit during cold storage by pre-storage application of oxalic acid. The J. Hort. Sci. Biotechnol. 82(5): 707-714.

Zhou, X. G. and K. L. Everts. 2007. Effects of host resistance and inoculum density on the suppression of fusarium wilt of watermelon induced by hairy vetch. Plant Dis. 91: 92-96.